

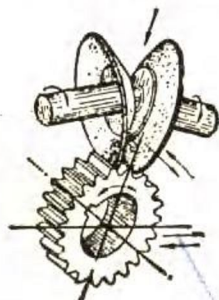
机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

怎样刨直齿锥齿轮

徐汝涵 编著

轮工



机械工业出版社

By 33/14

87
TG61
19
3

目 录

一 概说	1
1圆锥齿轮的种类 (1) ——2直齿锥齿轮的特点 (4)	
——3直齿锥齿轮的加工方法 (6)	
二 直齿锥齿轮的计算知识	12
1传动比计算 (12) ——2传动的作用力计算 (14) ——3齿形基本参数的计算 (16) ——4直齿锥齿轮传动的几何计算 (28)	
三 直齿锥齿轮的啮合原理与加工原理	28
四 直齿锥齿轮刨齿机	39
1机床的工作原理 (39) ——2机床的结构性能 (41) ——3机床的传动系统 (47) ——4机床的规格和技术性能 (54)	
五 机床的调整与计算知识	56
1刨刀位置的调整与计算 (56) ——2被加工齿轮安装角 δ_A 的调整计算 (60) ——3刀架安装角 λ_A 的调整计算 (61) ——4被加工齿轮轴向安装距 A_x 的调整计算 (64) ——5摇台摆角 θ 的调整计算 (65) ——6滚比 i 滚的调整计算 (71) ——7刨鼓形齿的调整计算 (75)	
六 在刨齿机上怎样刨直齿锥齿轮	80
1粗加工方法的选择 (80) ——2锥齿轮加工工艺 (81) ——3机床的切齿调整 (84) ——4实例 (102)	
七 直齿锥齿轮加工质量及精度检验	107
1接触区及其调整 (110) ——2齿厚及周节的测量 (128) ——3刨齿常出现的误差及原因 (135)	

— 概 说

1 圆锥齿轮的种类

机械传动中，利用两零件相啮合而传动的，叫做齿轮传动。一般说来，齿轮传动的速度和传递功率范围广，效率高，结构紧凑，工作可靠、耐久，广泛应用于各种机械中。

一对齿轮，分别装在主动轴和从动轴上，两轴线的相对位置是相交的，也有不相交的准双曲面位移，两轮的圆锥体作纯滚动，叫做圆锥齿轮传动。

圆锥齿轮的种类很多，可按下列不同特征区分：

(一) 按两轴线的相对位置区分

圆锥齿轮传动中，两轴线相交于锥顶点，轴夹角可以有三种情况，使用最广泛的、轴夹角等于 90° ，叫做正交锥齿轮传动（图1a左）。有时由于结构布局上需要，轴夹角小于 90° 或大于 90° ，叫做非正交锥齿轮传动（图1b）。比如图 22 Y236刨齿机传动系统平面图中 XVI 轴，两端采用了两对小于 90° 的非正交锥齿轮传动，便是一例。

大于 90° 的非正交锥齿轮传动中，当大轮分度圆锥角等于 90° 时，就成为平面齿轮；大于 90° 时，就成为内啮合锥齿轮（图1a右）。

圆锥齿轮传动中，还有一种情况，两轴线不相交，且有一段准双曲面位移距离，这种传动有双曲线体的准双曲线斜齿锥齿轮（图1d）和近似圆锥体的准双曲线螺旋锥齿轮。前者已被后者所代替，而后者又广泛用于小客车的后桥传动，这是因为，小轮轴线低于大轮轴线，可使汽车重心下降，传动平稳，传力大，适宜高速行驶。

(二) 按齿线的形成区分

不同类型的锥齿轮名称是由与其共轭的冠轮齿线轮廓形状而得名的。

圆锥齿轮中，齿线形状最简单的是直齿锥齿轮（图1a左），它的齿线是一条通过锥顶点或冠轮中心的直线。斜齿锥齿轮的齿线虽然也是直线，但是，它是斜的与某一圆相切，该圆的半径 e 叫做切向齿偏心距，所以俗称它为切向八字轮（图1c）。由于能加工切向齿的刨齿机不多，这种锥齿轮通常被弧齿锥齿轮所代替，可是，大型锥齿轮无法加工成弧齿，所以有时依然采用大型斜齿锥齿轮。

除直齿锥齿轮的齿线与冠轮齿线相同外，所有其他的锥齿轮，节锥上的齿线都是螺旋线，统称为螺旋锥齿轮（图1e）。这类锥齿轮，按冠轮齿线的形成仔细端详，有圆弧线的弧齿锥齿轮（图1f左）；有延长外摆线的螺旋锥齿轮（图1f中）；有准渐开线的螺旋锥齿轮（图1f右）。这三种螺旋锥齿轮，另还可以形成中点螺旋角等于零的零度螺旋（或弧齿）锥齿轮和齿圈内端螺旋角等于零的径向螺旋（或弧齿）锥齿轮，这样说来，螺旋（或弧齿）锥齿轮就有九种之多。

(三) 按齿形收缩形式区分，有下列三种：

齿型 I 正常收缩齿（图1g）

以前曾采用径向间隙改变的收缩齿，即锥齿轮的外锥、分度圆锥和根锥的母线交于同一锥顶点（图1b），两齿轮啮合后，终究发现轮齿小端径向上发生干涉现象，不由分说，无疑是径隙越接近锥顶越小造成的。

现在则采用径向间隙不变的收缩齿，即锥齿轮的外锥母线不通过分度圆锥和根锥的母线共有锥顶点（见图8），而是与啮合齿轮的根锥母线平行，这样一来，沿齿向径向间隙不

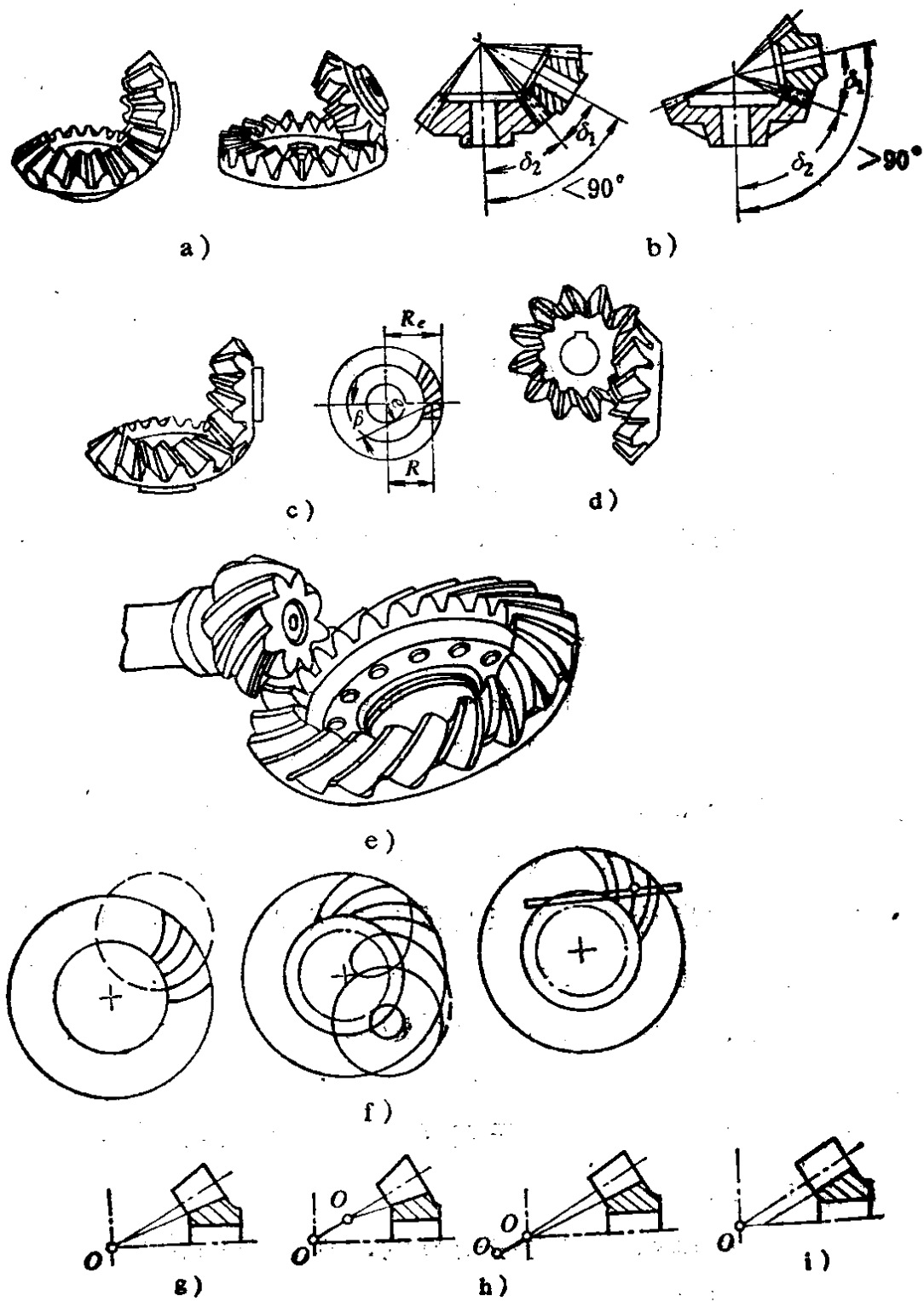


图 1 圆锥齿轮

变，上述的干涉现象就没有了。

齿型Ⅰ 非正常收缩齿 (图1h)

有些特殊收缩齿形式的锥齿轮，根锥母线和分度圆锥母线不交于一点，而在分度圆锥顶点以内或以外处。

齿型Ⅱ 等高齿 (图1i)

等高齿锥齿轮，顾名思义，就是从大端至小端齿高相等的锥齿轮。这种齿轮的外锥、分度圆锥和根锥的母线互相平行，大小轮的法向齿厚及法向齿槽都同样由大端向小端缩小，由此可见，等高齿也是收缩的。

加工等高齿时，对机床的调整比加工正常收缩齿时还要简单，而且可得到正确的接触区，但其缺点，齿形内端有较严重的根切和顶切现象。

2 直齿锥齿轮的特点

为什么直齿锥齿轮沿用至今，在现代的机械传动中，依然用得这样普遍呢？这是因为它具有下列特点：

(一) 啮合特点

(1) 分度圆锥角 δ 做成 $0^\circ \sim 90^\circ$ 的锥齿轮都能与冠轮啮合传动，而锥齿轮加工机床是按滚切法原理工作，重现了被加工齿轮与假想的冠轮啮合。

(2) 啮合传动轴夹角有三种情况，其中大于或小于 90° 的，以直齿锥齿轮尤其适应。

(3) 两锥齿轮啮合属于空间啮合，两节锥顶点交于球心，并作纯滚动。

(4) 直齿锥齿轮的齿线是直的，所以在两轮啮合点处不存在螺旋角因素。

(二) 传动特点

(1) 由于齿线是直的，在负荷作用下，接触区移向齿

缘，对装配误差及负荷变形异常敏感。不过，鼓形齿的直齿锥齿轮却克服了这个缺点。

(2) 直齿锥齿轮传动时，轴向力小，即使改变主动轴的回转方向，其方向总是背离锥顶的。

(3) 与其他的锥齿轮比较，承载能力较低，传动平稳性较差，噪声较大。其原因何在，主要是，齿线斜的或螺旋线的比直的要长些，尤其是增大螺旋角，使总重迭系数稍大于2，即至少有两个齿啮合着，这就能增加传动平稳性和轮齿强度，但也有增大轴向力的缺点。

(三) 设计特点

(1) 设计时，尽量选用较多齿数，以提高锥齿轮的耐磨性。如果小轮所用齿数很少，不仅两共轭齿轮的齿形会出现根切和顶切现象，而且由于齿形曲率小，接触区移向齿缘，还会引起较大噪声。

(2) 从工艺角度出发，研齿的锥齿轮副齿数，最好选用彼此无公因数者，这样，淬火后的研齿质量会大大提高。此外，磨齿的精密锥齿轮副齿数，最好选用成倍的齿数比，以便得到更完美的传动精度。

(3) 直齿锥齿轮的强度与齿宽成比例。如过分加大齿宽，则齿的小端会变弱，负荷集中，将加速轮齿的损坏。因此，齿宽应遵循设计原则，不得超过锥距的0.3倍。

(4) 部件设计时，考虑到直齿锥齿轮传动时轴向力小，选择滚动轴承的结构型式就简单得多。

(四) 使用特点：一般地说，直齿锥齿轮适用于下列场合：

(1) 适用于中、小功率的传动。

(2) 适用于周速 $v \leq 3$ 米/秒的低速传动，纵使有齿形

误差，既不致于影响齿长上正确接触，又不致于引起大的动负荷或明显噪声。

(3) 直齿锥齿轮发生磨损，也不同于其他的锥齿轮，它不致于发生啮合线长度以内负荷分布不匀的情况。

(4) 与其他的锥齿轮比较，直齿锥齿轮不需要留空隙，以备其中一个锥齿轮在轴向中游动。

总之，如果采用其他的锥齿轮，不是由于高速传动和高精度或其他性能要求，那么就宁可使用易于制造具有一定精度的直齿锥齿轮，何况，刨齿后经热处理，再经研齿、配滚或磨齿的齿形光整加工，还可以增加齿面耐磨性和提高传动精度呢！

3 直齿锥齿轮的加工方法

直齿锥齿轮按其齿线形状来说，与其他的锥齿轮比较，要简单得多。因此，齿形制造的方法，不论是切削加工，还是无屑加工，都具有许多优越性，现概述如下：

(一) 切削加工

(1) 仿形法：仿形法所用的刀具，其切削刃的形状跟齿轮的齿廓相近似。加工时，刀具和加工的齿轮无相对的滚切运动，刀具只作切削运动。

1) 用铣刀在万能铣床上加工：在万能铣床上用盘形齿轮铣刀铣齿（图2）是最先使用的加工方法，其生产率低，加工精度差。按照这种加工原理曾制出专用双工位多轴直齿锥齿轮粗切机，一边同时加工2~4个轮坯，一边先后装卸2~4个工件，生产率高，但只作粗切，尚须在刨齿机上精切。

2) 用刨刀按靠模加工：只用一把或两把刨刀，以刀顶按靠模刨削，可加工锥距长达2.5米，其经济精度为9级（图3），其加工原理为大型刨齿机所采用，可加工大型斜齿

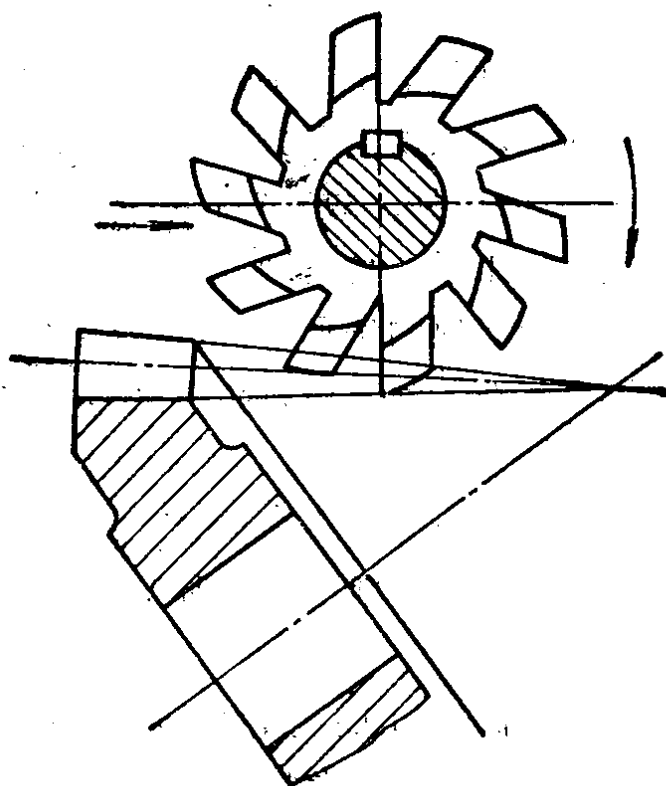


图 2 用铣刀加工锥齿轮

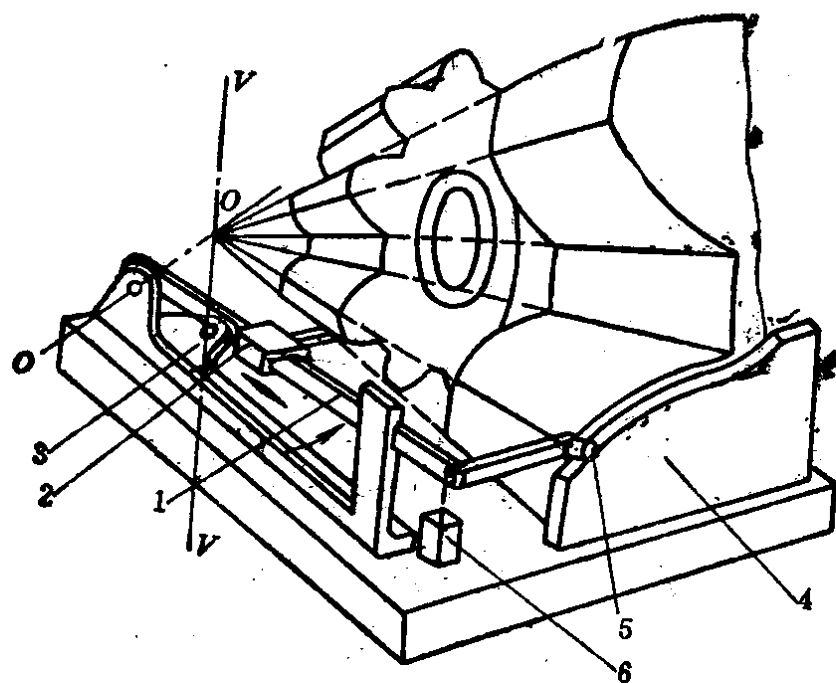


图 3 按靠模加工锥齿轮

1—导轨 2—刀架 3—刀架箱 4—靠模 5—滚柱 6—重锤

及直齿锥齿轮。

3) 用大圆盘拉刀在拉齿机上加工：在直齿锥齿轮拉齿机上用大圆盘拉刀拉齿，是所有已知加工方法中生产率最高的一种，加工每齿为 2~6 秒。拉刀每转一转，即切成一个伸缩的齿槽和分完一齿工作。拉刀圆周上分布着粗切用刀块组、精切用刀块组和无刀块的扇形部分（供工件分齿用）。设计拉刀渐变的齿形很复杂，制造拉刀的工艺装备不简单，但为大量生产所迫切需要。

(2) 滚切法：滚切法所用刀具和加工的齿轮作相对滚切运动，刀具切削刃在连续切削过程中所形成的包络线，就是齿轮的渐开线齿形。

1) 用刨刀在刨齿机上加工：如图所示，在刨齿机上用两把刨刀，装卡在机床摇台（产形齿轮）2 的刀架上当作假想的冠轮牙齿，刨刀作往复运动，摇台与被加工齿轮 3 作滚切运动，这就是刨齿加工原理。分齿可用不同方法进行。

2) 用圆盘铣刀在铣齿机上加工：在铣齿机上用两把直

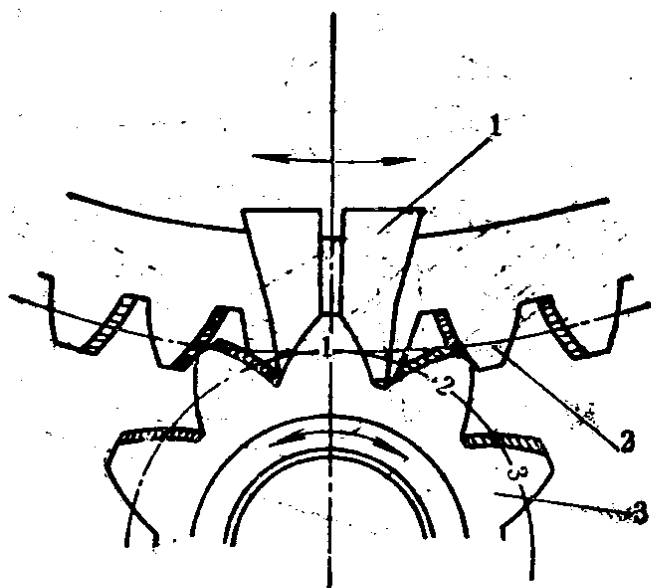


图 4. 刨齿工作原理

线切削刃的圆盘铣刀，装卡在摇台的刀架上，铣刀作回转运动，摇台与被加工齿轮作滚切运动，与刨齿加工原理相似。因铣刀没有沿齿向的进给运动，故被加工齿轮的齿槽底面微呈弧形。此外，刀片具有侧隙角，切出的轮齿为鼓形齿。它的生产率比刨齿机高 2~4 倍。

3) 用圆盘砂轮在磨齿机上加工：周期分齿工作，在磨齿机上用一个或两个圆盘砂轮磨齿，主要用于成批或小批生产，也适用于制造标准锥齿轮，普通直齿与斜齿都可以磨削，因而得到优质的淬火锥齿轮（见马格 KS-42 磨齿机简介）。

（二）无屑加工

采用无屑制齿成形，远在前一世纪已开始了，但其发展直到本世纪 30~50 年代才开始，从此，齿轮生产发现了一条颇有经济效益的渠道。现推荐三例供读者参考：

（1）采用热模锻法：联邦德国流行的直齿锥齿轮热模锻工艺过程，如图 5 所示：a) 切割棒料；b) 车削毛坯，被预成型车到 90%，既精锻时变形最小，且锻模承载负荷最小；c) 粗模锻；d) 精模锻；e) 车去飞翅，模槽充填最佳。

这里再推荐一个独特的模锻直齿锥齿轮实例（图 6）。采用向前挤压原理，在全齿宽上取得良好的模槽充填。图中：1 为冲头，2 为收缩圈，3 为锻模套座，4 为顶出器，5 为轮坯，6 为模锻成的锥齿轮。模锻齿轮，一般使用螺杆式压力机或曲柄式挤压机。

（2）采用热轧法：是又一种无屑制齿成形方法。大体说来，模锻法有利于小轮无屑制齿，而轧制法有利于大轮无屑制齿。目前冷轧法处于研试阶段，那末热轧法，则已切实

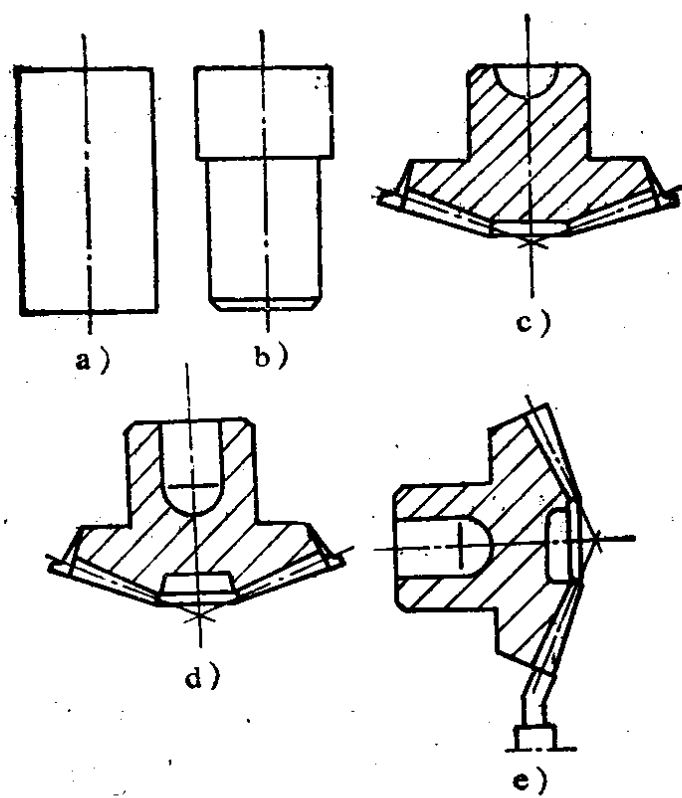


图 5 卡车后轴齿轮加工工艺过程

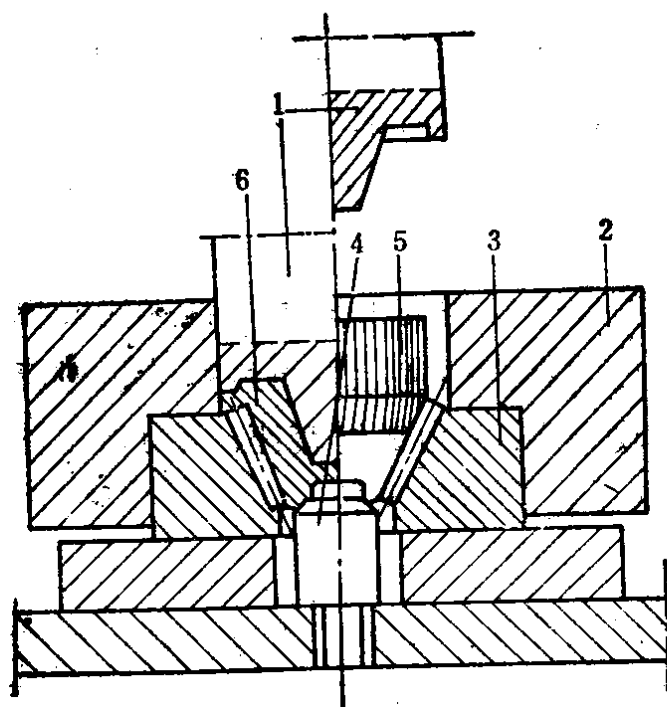


图 6 模锻直齿锥齿轮

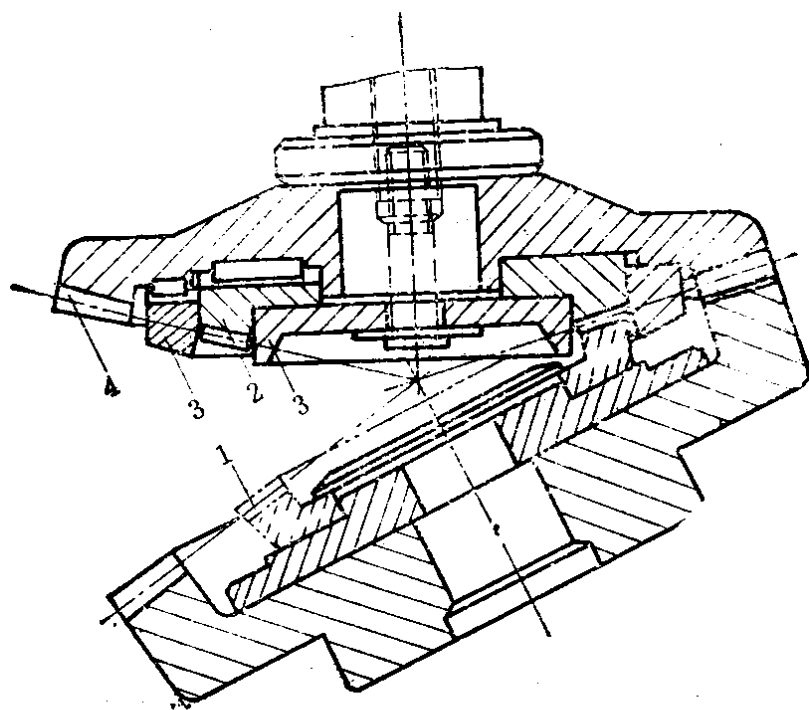


图 7 热轧时工具齿轮和被轧齿轮的安装

应用于汽车与拖拉机制造业中，并已制造出若干种大型热轧锥齿轮机床。

热轧锥齿轮时，工具齿轮和被轧齿轮的安装如图 7 所示。被轧齿轮 1 加热到一定高温后，放在工作台胎具内，倾斜的工具齿轮 2 沿着一定轴夹角的轴线下降。当同步齿轮 4 与胎具上的主动锥齿轮开始啮合就滚动起来，通过内外的挡环 3，带动工具齿轮，使它无滑动地滚轧入被轧齿轮，并深入到齿全高为止，热轧制齿成形即告完成。下一步，工具齿轮上升，取出被轧齿轮。

这两种无屑加工方法比较起来，模锻所需的动力要比热轧大 100 倍，生产率却小到 50/100，而加热的能量消耗要多 3 倍。由此看来，热轧法比模锻法有更多的经济效益。

二 直齿锥齿轮的计算知识

1 传动比计算

直齿锥齿轮传动中(图 8), 两轴线相交于 O 点, 传动理论上是两个圆锥体相互滚动。将两个圆锥体大端背锥展开, 即指向视图, 就成为两个假想的圆柱齿轮啮合, 所以它又叫做圆锥齿轮的当量圆柱齿轮。

大家知道，圆柱齿轮啮合理论中提到，在啮合节点上周速 v 为：

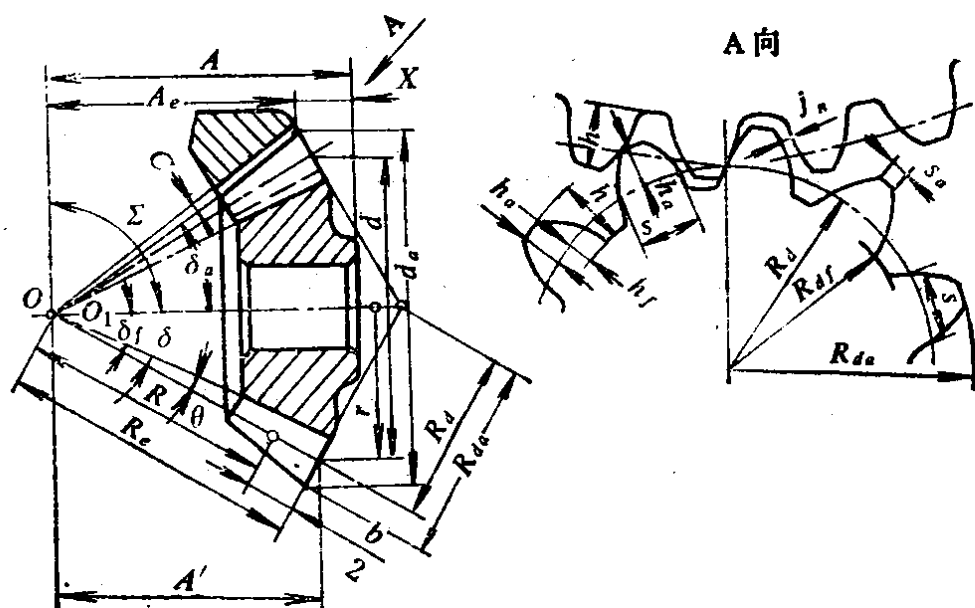


图8 锥齿轮主要尺寸

$$v = \omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2, \quad \text{即} \quad \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

式中 ω ——角速度 (度) ;

r ——分度圆半径 (毫米)。

两转动构件角速度 ω （或每分钟转数 n ）的比值叫做传动比 i ，亦称“角速比”或转数比。传动比 i 可根据下式

计算:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

又因为 $r_1 = R_e \cdot \sin \delta_1$, $r_2 = R_e \cdot \sin \delta_2$;

$$\text{得 } R_e = \frac{r_1}{\sin \delta_1} = \frac{r_2}{\sin \delta_2}$$

式中 R_e ——节锥母线长度 (锥距) (毫米);

r_1, r_2 ——小、大轮分度圆半径 (毫米);

δ_1, δ_2 ——小、大轮分度圆锥角 (度)。

轴夹角 $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$, 或 $\delta_2 = \Sigma - \delta_1$, $\delta_1 = \Sigma - \delta_2$;

$$\text{所以 } i = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1} = \frac{\sin(\Sigma - \delta_1)}{\sin \delta_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin(\Sigma - \delta_2)} \quad (2)$$

如果已知传动比 i 和轴夹角 Σ , 由上式可求得两轮的分度圆锥角, 即

$$\begin{aligned} i &= \frac{\sin(\Sigma - \delta_1)}{\sin \delta_1} = \frac{\sin \Sigma \cdot \cos \delta_1 - \cos \Sigma \cdot \sin \delta_1}{\sin \delta_1} \\ &= \sin \Sigma \cdot \operatorname{ctg} \delta_1 - \cos \Sigma \end{aligned}$$

$$\text{通过演算得 } \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\sin \Sigma}{i + \cos \Sigma} \quad (3)$$

$$\text{同理得 } \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{i \cdot \sin \Sigma}{1 + i \cdot \cos \Sigma} \quad (4)$$

对于正交锥齿轮传动, $\Sigma = 90^\circ$, 上式可简化为,

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\sin 90^\circ}{i + \cos 90^\circ} = \frac{1}{i} = \frac{z_1}{z_2}$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{i \cdot \sin 90^\circ}{1 + i \cdot \cos 90^\circ} = i = \frac{z_2}{z_1}$$

$$\text{又因 } r_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{m \cdot z_1}{2}, \quad r_2 = \frac{d_2}{2} = \frac{m \cdot z_2}{2}$$

代入公式(1)得

$$i = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (5)$$

由此可知, 齿数与分度圆半径成比例。

2 传动的作用力计算

直齿锥齿轮副啮合传动时, 作用在轮齿中点上的力, 将产生垂直坐标的三个分力 (图 9), 即圆周力 P_z 、径向力 P_r 和轴向力 P_x , 这三力的几何总合就是合力

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_r^2 + P_x^2} \quad (6)$$

圆周力可根据下式计算:

$$P_z = \frac{1432400}{d_2 \left(1 - \frac{b}{2R_o}\right)} \cdot \frac{N}{n_1} \quad (\text{牛}) \quad (7)$$

$$\text{或} \quad P_z = \frac{20M_{\text{转}}}{d_2 \left(1 - \frac{b}{2R_o}\right)} \quad (\text{牛}) \quad (8)$$

式中 轴上的动力:

$$N = N_{\text{电}} \cdot \eta \quad (\text{千瓦}) \quad (9)$$

$N_{\text{电}}$ ——电动机功率 (千瓦)

$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots$ 从电动机到所计算的轴间各机件的传动效率

$M_{\text{转}}$ ——作用在轴上的转矩

$$M_{\text{转}} = 7162 \frac{N}{n_2} = \frac{P_z \cdot d_2 \left(1 - \frac{b}{2R_o}\right)}{2} \quad (\text{牛米}) \quad (10)$$

式中 n_2 ——大轮每分钟转数;

d_2 ——大轮分度圆直径（毫米）；

R_e ——大轮锥距（毫米）；

b ——大轮齿宽（毫米）。

径向力可根据下式计算：

$$P_y = P_x \frac{\sin \alpha \cdot \cos \delta + f \cdot \cos \alpha \cdot \cos \delta}{\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha} \quad (11)$$

式中 齿轮摩擦角一般取 $5^\circ 43'$ ，相当于摩擦系数 $f = \operatorname{tg} 5^\circ 43' \approx 0.1$ ， α 压力角为 20° 代入上式得 $P_y = 0.48 P_x \cdot \cos \delta$

轴向力可根据下式计算：

$$P_z = P_x \frac{\sin \alpha \cdot \sin \delta + f \cdot \cos \alpha \cdot \sin \delta}{\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha} \quad (12)$$

同上得 $P_z = 0.48 P_x \cdot \sin \delta$

如图 9 所示，作用在主动锥齿轮上的力以 P_x 、 P_y 和 P_z 表示，作用在从动锥齿轮上的力以 P'_x 、 P'_y 和 P'_z 表示。

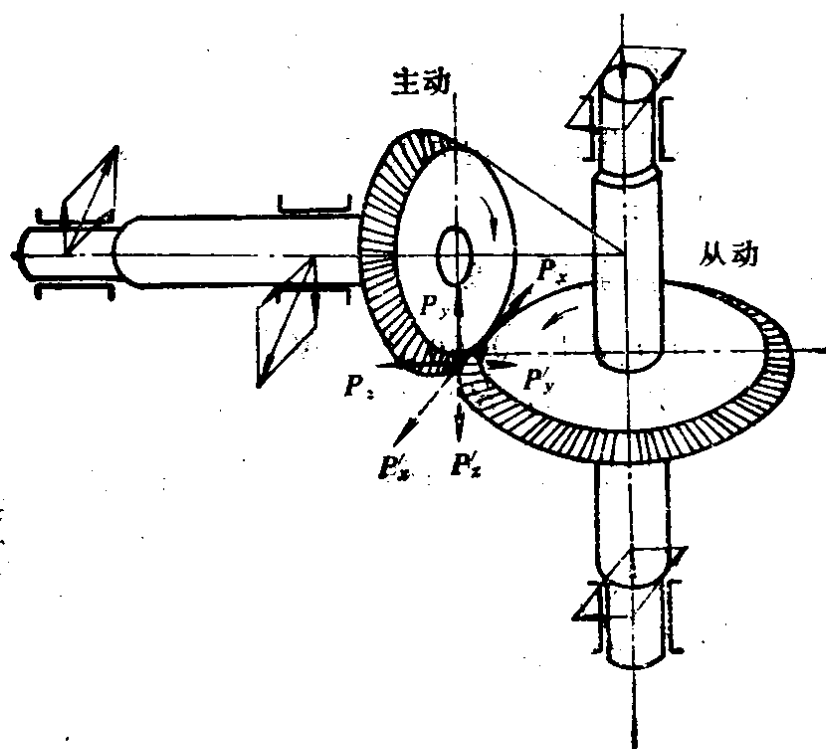


图 9 锥齿轮作用在轴上的力