

直齿圆锥齿轮铣削加工

■ 鹤壁职业技术学院机电工程学院（河南 458030） 左传付

摘要：在卧式铣床上使用盘形模数铣刀加工直齿圆锥齿轮的主要过程：分度头、齿坯的安装与调整，模数铣刀的选择，铣齿槽中部，偏铣大端两侧。为使加工获得的齿轮齿形更为准确，关键是大端的偏铣，根据偏铣原理给出了几种偏铣方法，供使用时参考。



直齿圆锥齿轮主要用于两轴相交的传动，两轴间的夹角通常为 90° ，也可以小于 90° 。锥齿轮一般在锥齿刨等专门机床上加工，在缺少锥齿轮专用机床的情况下，可在铣床上用锥齿轮铣刀加工，其采用的是成形刀具和分度装置在铣床上进行加工。由于存在分度误差及刀具安装误差，一般只能加工出9~10级精度的齿轮。此外，加工过程中需做多次不连续分齿，生产率也较低，仅用于单件小批量生产和修配工作中加工精度不高的齿轮。

1. 直齿圆锥齿轮示例

直齿圆锥齿轮的参数如表1所示，其结构和技术要求如图1所示。

2. 直齿锥齿轮的加工方法和步骤

(1) 选择锥齿轮铣刀。由于

锥齿轮大端和小端的直径是不相等的，所以大、小端的基圆直径也不相等，大端的渐开线齿形较平直，小端较弯曲。用成形铣刀铣出的锥齿轮齿形，若要符合大端就不能符合小端。因此，在铣

表1 锥齿轮参数值

模数/mm	m	3
齿数	Z	25
压力角	α	20°
分锥角	δ	45°
根锥角	δ_f	$41^\circ 7'$
分度圆直径/mm	d	75
齿顶圆直径/mm	d_0	$79.24_{-0.140}^{+0.030}$
锥距/mm	R	53.03
分度圆弦齿厚/mm	$\bar{S}$	$4.71_{-0.280}^{+0.112}$
分度圆弦齿高/mm	$\bar{h}_a$	3
精度等级	9HM GB/T 10095—2008	

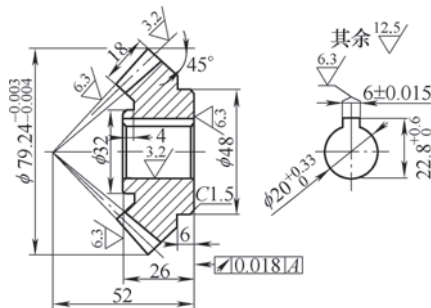


图1 直齿圆锥齿轮

床上用锥齿轮铣刀加工锥齿轮，整个齿的齿形是不可能全部准确的，故精度较低。

锥齿轮是以大端的参数为标准进行设计的，为此锥齿轮铣刀的齿形曲线应按照大端制造。另外，由于锥齿轮小端的齿槽较窄，标准锥齿轮小端的槽宽为大端的 $2/3$ ，所以锥齿轮铣刀的厚度应按小端制造，且还应比小端齿槽稍薄一些。锥齿轮铣刀与普通圆柱齿轮铣刀不同，为防选错，在锥齿轮铣刀的侧面印有“ $\triangle$ ”的标记。

因锥齿轮的齿是在圆锥面上的，故锥齿轮铣刀的齿形曲线应与垂直于分度圆锥面的截面上的齿形相同。锥齿轮铣刀也像圆柱齿轮铣刀一样，每一模数按齿形曲线的弯曲程度不同划分为8个刀号，如表2所示。所不同的是要按当量齿数来选择。本例不是按25个齿选4号铣刀，而应先计算出其当量齿数

$$Z_v = \frac{Z}{\cos \delta} = \frac{25}{\cos 45^\circ} \approx 35$$

即应按35个齿选用模数为3mm的6号锥齿轮铣刀。

(2) 工件的装夹与调整。

工件装夹前应对齿坯进行检查，用万能量角器检查齿坯角和背锥角；检查基准面到外圆的距离；检查齿坯的外径等。

工件的装夹。按结构形状不同，锥齿轮常用的装夹方法是用心轴和螺母装夹，心轴柄部的莫氏锥体与分度头主轴锥孔相配，并用拉紧螺杆紧固在分度头上。工件套在心轴的圆柱部分，用百分表找正后用螺母压紧（见图2）。

对直径较小和锥角较大或小端槽底与内孔表面很接近的锥齿轮（见图3），为避免铣齿时把螺母甚至心轴损坏，可使用锥度为1:8 000~1:1 000的微锥心轴装夹，具体应根据孔径的公差等级等因素来确定。

对锥角和直径较大、端部有台阶或孔径较大等有可夹部位的工件，可直接利用分度头上的三爪自定心卡盘装夹。

装夹时工件的找正。若锥齿轮采用专用心轴或弹簧卡头装夹，一般不需进行找正。若用微锥心轴装夹，一般也不需找正，必要时可对锥齿轮大端的端面做检查和找正。在用卡盘和间隙配合的心轴装夹时，则需要找正工件大端和小端的径向圆跳动，以及大端的端面圆跳动。

分度头的调整。分度头安装在工作台上时，需使主轴轴线与进给方向一致，然后把分度头主轴扳起一个切削角，其大小等于根锥角 δ_f 。

铣削层深度的调整。工件和分度头都调整好后，先把铣刀的中分面调整到通过工件的轴心（刀具对中），然后使铣刀接触擦到大端锥面（以大端为基准），并退出工件，将工作台升高一个大端齿全高（2.2m），就可以开始铣削齿槽中部。模数大的工件，在深度上可分几次走刀铣削。

为了防止切削中分度头主轴突然掀起而造成事故，走刀方向最好是从大端铣向小端。

(3) 偏铣原理和方法。锥齿轮的齿和齿槽都是收缩型的，即在大端处宽、小端处窄。在加工时虽然已将分度头扳起一个根锥角 δ_f ，使锥齿轮的外圆锥面大端比小端略高，铣削时大端切得比小端深些，齿槽宽度大端也比小端略宽，但这个差值还不能满足要求，还需要将大端齿槽两侧再多铣去一些。在铣床上铣削锥齿轮时，第一次进给铣出中间齿槽后，大端的齿形已得到，但槽宽尺寸未达到要求，所以，每一个齿槽一般都要铣三刀，以达到使大端齿槽两侧多铣去一些的目的。

的，铣削锥齿轮齿槽两侧余量的加工称为偏铣。偏铣的原理是：一方面使工件偏转；另一方面移动工作台，使小端齿槽重新对准铣刀。利用工件偏转时大端和小端在垂直于进给方向（横向）上的偏移差值，使铣削余量由小端向大端逐渐增多，将大端多铣去一些。

目前铣削锥齿轮时的偏铣方法很多，但由于锥距与齿宽之比（即 R/b ）不一致，以及节锥角和齿数等参数的不同，任何一种方法都不能适用于所有的锥齿轮加工，因此，只能按照具体情况选用，并在试切中加以纠正。常采用回转量与偏移量相结合的方法进行铣削，如图4所示。

第一种方法。先计算偏移量 S ，工件绕本身轴线的回转量由试切确定。 S 值的计算方法也有几种，现介绍其中的一种计算公式

$$S = \frac{T}{2} - mx$$

式中， T 为铣刀在中径处的厚度（mm）； x 为偏移系数（见表3）。

以图4所示锥齿轮为例，若用齿轮卡尺从铣刀上测得 $T=2.58\text{mm}$ ，从表3中查得 $x=0.266$ ，则 $S=T/2-mx=2.58\div 2-3\times 0.266=0.492\text{（mm）}$ 。

即加工时，当中间齿槽

表2 铣刀刀号与所加工齿轮的齿数 ($m\leq 8\text{mm}$)

铣刀号	1	2	3	4	5	6	7	8
加工齿数范围	12~13	14~16	17~20	21~25	26~34	35~54	55~134	≥ 135

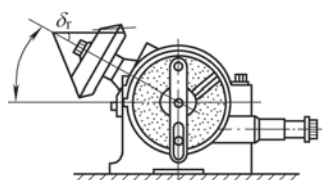


图 2

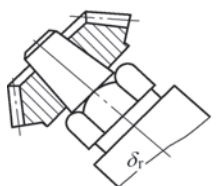


图 3

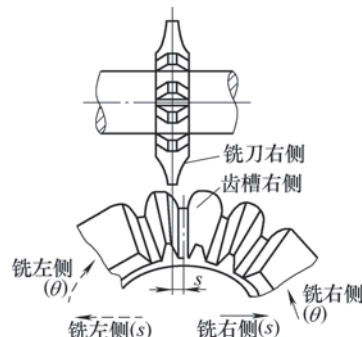


图 4

表3 偏移系数值

铣刀 号数	锥距（节锥半径）与齿宽之比（R/b）								
	3 : 1	3.25 : 1	3.5 : 1	3.75 : 1	4 : 1	4.25 : 1	4.5 : 1	4.75 : 1	5 : 1
1	0.275	0.286	0.296	0.309	0.319	0.331	0.338	0.344	0.352
2	0.289	0.298	0.308	0.316	0.324	0.329	0.334	0.338	0.343
3	0.311	0.318	0.323	0.328	0.330	0.334	0.337	0.340	0.343
4	0.280	0.285	0.290	0.293	0.295	0.296	0.298	0.300	0.302
5	0.275	0.280	0.285	0.287	0.291	0.293	0.296	0.298	0.298
6	0.266	0.268	0.271	0.273	0.275	0.278	0.280	0.282	0.283
7	0.266	0.268	0.271	0.272	0.273	0.274	0.274	0.275	0.277
8	0.254	0.254	0.255	0.256	0.257	0.257	0.257	0.258	0.258

铣好后，把工作台横向偏移 $S=0.492\text{mm}$ ，再摇分度手柄，使小端齿槽重新对准铣刀，记下手柄的回转量 N ，铣齿槽的一侧。铣削齿槽的另一侧时，应使工作台反向移动 $2S=0.984\text{mm}$ ，手柄的反向回转量为 $2N$ 。

第二种方法。先计数分度头手柄的回转量 N ，工作台的偏移量 S 由试切确定。 N 值的计算方法也有几种，现介绍其中的一种

$$N = \frac{5}{z} \text{ 或 } N = \frac{4}{z}$$

式中， z 为锥齿轮的齿数，齿数少时取 $4/z$ ；齿数多时取 $5/z$ 。

仍以图4锥齿轮为例，则

$N = \frac{4}{z} = \frac{4}{25}$ ，即在偏铣时，先使手柄在25孔的一圈上转过4个孔距，再横向移动工作台，使小端齿槽重新对准铣刀，并记下偏移量 S 值。

第三种方法。是把分度头在水平面内偏转角度与偏移量相结合的方法进行铣削。先计算分度头和工件在水平面内的偏转角 α ，工作台横向的偏移量 S 由试切确定。可用如下近似公式计算

$$\tan \alpha \approx \frac{\pi m}{4R}$$

式中， R 为锥齿轮锥距（mm）。

再以图4锥齿轮为例，则偏转角 α 为

$$R = \frac{mz}{2\sin\delta} = \frac{3 \times 25}{2 \times \sin 45^\circ} = 53.03 (\text{mm})$$

$$\tan \alpha \approx \frac{\pi m}{4R} = \frac{3.14 \times 3}{4 \times 53.03} = 0.044$$

$$\alpha \approx 2^\circ 32'$$

在偏铣时，利用装在分度头底下的转盘，使分度头转过 $2^\circ 32'$ ，再横向移动工作台，使小端齿槽重新对准铣刀，并记下偏移量 S 值。

（4）偏铣时齿厚的纠正方法。用上述方法对2~3个齿的两侧进行偏铣后，应对齿的大、小两端进行检测。小端弦齿厚和弦齿高的计算公式如下

$$\bar{s}_{\text{小}} = \frac{R-b}{R} \bar{s} (\text{mm})$$

$$\bar{h}_{\text{a小}} = \frac{R-b}{R} \bar{h}_{\text{a}} (\text{mm})$$

一般在图样上注有 $\bar{s}$ 和 $\bar{h}_{\text{a}}$ ，则可按 R 和 b 的数值或比值求得 $\bar{s}_{\text{小}}$ 和 $\bar{h}_{\text{a小}}$ 。本例的 $\bar{s}=4.71\text{mm}$ ， $\bar{h}_{\text{a}}=3.0\text{mm}$ ， $\bar{s}_{\text{小}}=3.11\text{mm}$ ， $\bar{h}_{\text{a小}}=1.98\text{mm}$ 。若实际测得的数值与图样上标注的或计算所得的数值不符，则需对回转量和偏移量进行纠正，纠正的原则是：

若小端尺寸已准确而大端还有余量，则应增加回转量 N （或偏转角 α ）和偏移量 S ，使差值增大，使小端不再被铣去。

若大端尺寸已准确而小端的齿厚还有余量，则应减少回转量 N （或偏转角 α ），使偏移量 S

减少得多些。使小端也被铣去一些，而大端不再被铣去。

若大端和小端的尺寸均还有余量，且余量相等，则只需减少偏移量 S ，使大端和小端都被铣去一些。

若小端尺寸已准确而大端尺寸太小，则应减少回转量 N （或偏转角 α ），偏移量 S 适当减少些，使小端不再被铣去，而大端比原来少切去些。

若大端尺寸已准确而小端尺寸太小，则应增加回转量 N （或偏转角 α ），偏移量 S 增大得多一些，使小端比原来少铣去一些。若在铣中间槽时，小端的齿厚已太小，则需调换铣刀或制造专用铣刀来加工。

3. 结语

铣床上铣锥齿轮是近似加工方法，齿轮的齿数愈少时，误差就越大，铣出的小端齿槽曲线比所要求的较平直，齿顶厚度大。在实际工作中，若把锥齿轮的大端和小端的齿厚都加工得比较准确，同时一对锥齿轮的传动啮合间隙又较小，则由于小端的齿面曲线太平直，运动时小端会产生干涉。所以锥齿轮铣完后，还应应用细锉刀对锥齿轮的齿面进行修锉，以使小端曲线稍弯曲些，接近正确齿形，修锉量自小端向大端逐渐减少。在要求不高时，为了不进行修锉和避免产生干涉，可把小端齿厚加工得略小些。

参考文献：

- [1] 王振强. 普通铣床加工直齿锥齿轮[J]. 现代制造技术与装备, 2004 (3) : 29-30.

MW (收稿日期: 20160301)