



第2版

下册

齿轮手册

齿轮手册编委会 编



机械工业出版社
China Machine Press

第 22 篇 摆线、谐波及非圆齿轮加工

主 编 王贵海(第二炮兵学院)

编 写 人

审 稿 人

第 1 章 何卫东 李力行

王贵海

曹云龙(扬州琼花传动机械总厂)

巨宏正(秦川机床集团有限公司)

第 2 章 许元礼(国防科工委后勤部应用技术研究所)

尹仪芳(中国科学院电工所)

第 3 章 尹种芳(天津第一机床厂)

吴序堂(西安交通大学)

王贵海

第 1 章 摆线齿轮加工

1 概述

摆线针轮行星减速器的制造,关键是对摆线轮、针齿壳、输出轴和双偏心套 4 个关键件的加工。

为了充分发挥摆线针轮行星减速器多齿啮合,承载能力大、传动平稳的优点,在加工工艺上要特别注意保证摆线轮优化齿形的精度、摆线轮齿与针轮齿的分度精度、摆线轮上输出机构等分销孔及输出轴上输出机构等分销孔的分度精度。下面分别加以论述。

2 摆线轮加工工艺

2.1 摆线轮的材料选择

作为减速器的关键零件之一的摆线轮,无论其齿面、等分销孔及轴承孔都担负着最重要的传递力的使命,其受力情况复杂,因此,摆线轮的材料必须具有高强度、良好的切削加工性、淬透性及回火稳定性,并经适当的热处理后能获得较高的硬度和耐磨性。

摆线轮的材料通常选用 GCr15 或者 GCr15SiMn,其中以 GCr15 应用最为广泛。但对规格(尺寸)较大的摆线轮应选用 GCr15SiMn 以增加其淬透性。

2.2 摆线轮的加工工艺路线

根据摆线轮的技术要求(见第 8 篇表 8.1-8、图 8.1-40),确定摆线轮的工艺路线如下:

下料→锻造→球化退火→粗车(内、外圆及两平面)→粗钻销孔→时效→半精车→半精镗销孔→打标→铣摆线齿廓→淬火^{探伤、检查硬度}→磨两平面→磨轴承孔→磨销孔→磨摆线齿廓^{探伤}→倒角。其中标记应成对打在同一位置,以后的铣齿、磨销孔、磨齿等工序必须标记重叠成对加工。

2.3 摆线轮热处理工艺

2.3.1 球化退火

为了降低锻件硬度,以利切削加工,并使其组织成为均匀分布的细粒状珠光体,为以后的淬火提供良好的原始组织,且淬火后获得最佳的力学性能,必须对摆线轮锻造坯件进行球化退火。

图 22.1-1 为摆线轮坯件退火工艺简图,退火后坯件达到的硬度 GCr15 为 170~207HBS, GCr15SiMn 为 179~217HBS。摆线轮球化退火应注意以下几项:

(1) 为了获得最佳的退火组织,必须严格控制锻造加热温度、终锻温度以及冷却方式,力求锻造后的组织为细珠光体类型及细小的网状碳化物。

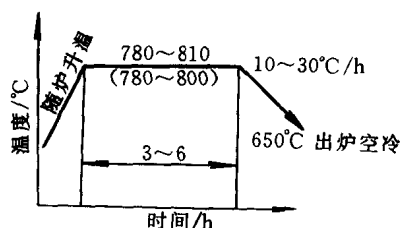


图 22.1-1 摆线轮坯件球化退火工艺简图

摆线轮坯件锻造加热与冷却工艺规范见表 22.1-1。

表 22.1-1 摆线轮坯锻造工艺规范

材料	加热温度/℃	终锻温度/℃ (不低于)	冷 却
GCr15	1050~1080	830~860	散放于干燥的地方进行空冷或者吹风冷却,不允许成堆堆放冷却
GCr15SiMn	1030~1100	830	大于 600~650℃单独放在地上冷却(空冷) 低于 600~650℃埋在碳中缓慢冷却 低于 100℃时坯件出灰

(2) 根据加热设备的均温性、工件大小、装炉方法及装炉量确定正确的保温时间。

(3) 冷却速度不应太快,否则球化不完全,坯件的硬度增加,不易进行切削加工,冷却速度太慢则碳化物颗粒粗大,从而使切削性能变坏。

(4) 退火后要在不同的炉子温度区域选取试样进行检查。

2.3.2 淬火

(1) 根据不同规格摆线轮的厚度,确定其不同的加热温度,各种规格(机型)摆线轮淬火加热温度见表22.1-2。

表 22.1-2 摆线轮淬火加热温度

材 料	机 型 号	加热温度/°C
GCr15	B10~B18	845~850
	≥B22	845~860
GCr15SiMn	≤B22	820~830
	B27~B33	825~835
	B39~B45	835~840
	≥B55	835~845

(2) 加热时间包括升温及保温时间。升温时间与装炉方式、装炉量、加热方式等有关。在炉中加热时,升温时间按装炉量确定,为15~20s/kg。

保温时间根据不同规格减速器摆线轮的厚度确定,其保温时间见表22.1-3。

表 22.1-3 摆线轮淬火保温时间

材 料	机 型 号	保 温 时 间/min	
		盐 炉	电 炉
GCr15	B10~B18	9~12	12~15
	≥B22	12~15	15~20
GCr15SiMn	B10~B18	10~12	14~16
	B22	12~15	16~18
	B27	15~19	18~20
	B33	19~22	20~24
	B39	22~24	24~26
	B45	24~26	26~28
	≥B55	—	32~33

(3) 摆线轮淬火的冷却介质为22号L-AN全损耗系统用油、10号轻柴油等,冷却方法采用快速插入后强力搅动,自动摇筐等方法。

摆线轮淬火后,还需进行回火处理,回火温度为150~180°C;回火时间为2.5~3h。

除此以外,还可以通过冷处理进一步减少淬火组织中残余奥氏体量,使剩余的少量的奥氏体更加稳定,从而增加硬度和尺寸稳定性。冷处理的工艺规范为:

淬火后→冷却到室温→流动水冲洗→-70°C冷处理→保温1~1.5h。

冷处理通常采用冷冻机和干冰酒精溶液(最低温度为-78°C)。

2.4 摆线轮的机械加工工艺

在摆线轮整个机械加工过程中,摆线轮的齿廓和等分销孔的加工是至关重要的。下面分别介绍比较典型的几种加工方法。

2.4.1 摆线轮齿廓的加工

(1) 在滚齿机上改装铣削头用立铣刀铣摆线齿廓

1) 加工原理 这种加工方法是根据短幅外摆线的第一种形成方法,即外滚法来加工摆线轮齿廓的。

如图22.1-2所示,当滚圆 r 相对基圆 R 做纯滚动时,滚圆内点 M 的轨迹就是短幅外摆线。如若把一个半径为 r_c 的圆之圆心固定在 M 点上,当滚圆 r 相对基圆 R 做纯滚动时即可得到与 r_c 圆相切的短幅外摆线的等距曲线。

现在假定将半径为 r_c 的铣刀装在 M 点的位置上,或者说把铣刀安装在铣削头的偏心轴套上,其偏心距为 a ,而将摆线轮毛坯固定在滚齿机的工作台上。加工摆线轮齿廓时,铣刀自转的同时还绕偏心轴套的中心线做偏心转动,工件绕工作台中心转动。如果偏心轴套的转速(铣刀偏心运动转速) $n_{刀偏}$ 与工作台转速 $n_{工作台}$ 之比满足式(22.1-1),此时铣刀就将在摆线轮上铣出一条连续的短幅外摆线的等距曲线,即齿数为 z_c 的摆线轮的齿廓曲线。

$$\frac{n_{刀偏}}{n_{工作台}} = \frac{R}{r} = z_c \quad (22.1-1)$$

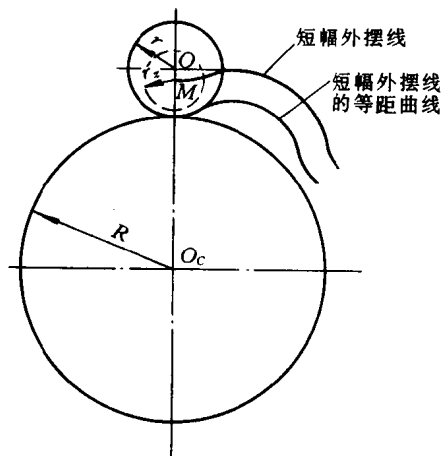
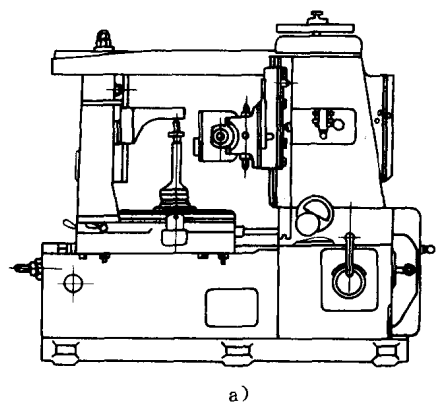


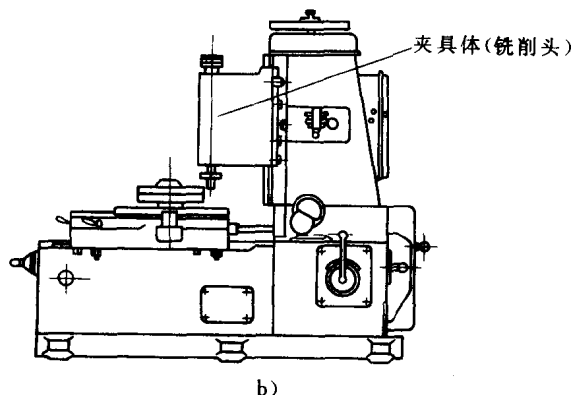
图 22.1-2 短幅外摆线形成原理图

2) 滚齿机床的改装 将原滚齿机的刀架滑板全部拆除,换以自行设计制造的铣削头即可。用以改装的滚齿机型号可以根据工厂的实际情况和加工需要而定,现以Y38-1型滚齿机为例。

图 22.1-3 为改装前后的 Y38-1 滚齿机的机床外观图。



a)



b)

图 22.1-3 机床外观图(Y38-1)

a) 改装前 b) 改装后

铣削头的工作原理及传动系统原理见图 22.1-4 和图 22.1-5 所示。

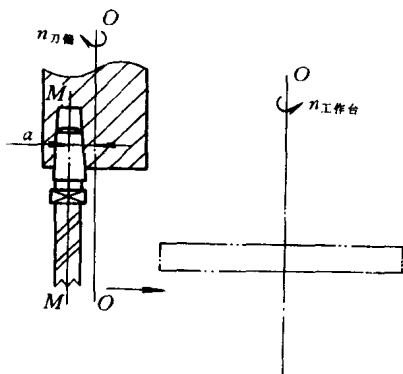


图 22.1-4 铣削头工作原理图

由传动系统图可知,铣刀的自转运动是电动机 1 通过一对带轮 2 和 3 带动轴 4 转动,再通过十字滑块联轴器 5 带动装在偏心轴 6 与偏心套中间的铣刀主轴 8 转动。

铣刀的公转运动是通过一对锥齿轮和一对圆柱齿轮带动偏心套转动的。由于铣刀中心偏心安装于偏心套上,当偏心套绕其固定的中心转动时,铣刀的中心也将随之做回转运动,即铣刀的公转运动。

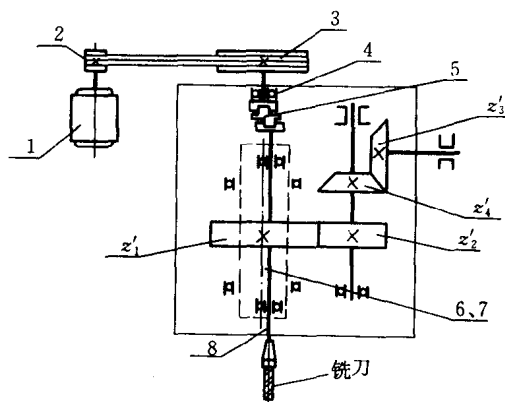


图 22.1-5 铣削头传动系统原理图

1—电动机 2、3—带轮 4—轴 5—十字滑块联轴器

6—偏心轴 7—偏心轴套 8—主轴

为实施方便起见,应使铣刀的公转转速与原滚齿机滚刀转速相同,即图 22.1-5 中 $\frac{z'_1}{z'_3} \times \frac{z'_1}{z'_2}$ 与图 22.1-6 中 $\frac{z_3}{z_4} \times \frac{z_1}{z_2}$ 相等。

通常,锥齿轮 z'_3 和 z'_4 仍采用原滚齿机的一对锥齿轮,即 $\frac{z'_4}{z'_3} = \frac{z_4}{z_3}$,最后保证 $\frac{z'_1}{z'_2} = \frac{z_1}{z_2}$ 。

图 22.1-6 为原滚齿机刀架部分传动系统图。

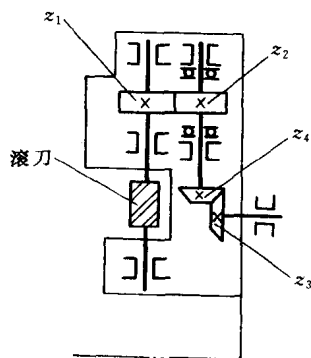


图 22.1-6 原滚齿机刀架传动系统图

由于铣刀的偏心转速与原滚齿机滚刀转速相同,因而利用原机床的交换齿轮组,就可以变换各种不同的铣刀偏心转速。

铣刀合理的偏心转速,需根据摆线轮规格的不同、铣刀的直径、铣刀的自转转速及摆线轮的材料等因素来选择。

为了满足不同偏心摆线轮的要求,采用由偏心轴 6

和偏心套7(图22.1-5)组成的双偏心结构,通过调整偏心轴与偏心套的相对角度位置来实现不同的偏心距。

通常在偏心套与偏心轴上刻有相应的刻度线,当需要调整偏心距时,松开偏心轴与偏心轴套之间的锁紧螺母,将偏心轴上相应的刻度线转到偏心轴套上基准刻线的位置上(对正),然后固紧锁紧螺母。

铣削头铣削摆线轮齿廓时的铣齿运动同样是由滚齿的分齿交换齿轮传动系统来实现的。如前所述,改装之铣削头的公转转速与原滚刀转速保持一致,因而原滚齿机的交换齿轮计算公式完全适用于铣削头铣摆线轮齿廓。表22.1-4为摆线轮铣齿分齿交换齿轮表。

表 22.1-4 摆线轮铣齿分齿交换齿轮表

摆线轮齿数 z_c	a	b	c	d
9	48	20	50	45
11				55
13			40	42
17		60	60	34
23				45
29				58
35			30	35
43				43
59				59
71				71
87				87

交换齿轮计算公式(以Y3150E为例):

$$\frac{ac}{bd} = 24 \times \frac{1}{z_c} \quad (22.1-2)$$

式中 a, b, c, d ——分齿交换齿轮;

z_c ——摆线轮齿数。

铣削头铣摆线轮时的进给运动可分为径向进给运动和轴向进给运动,以Y3150E滚齿机为例,其径向进给运动是靠手动实现的,方头手摇手柄每旋转一周,工作台水平移动2mm,其刻度盘上每小格为0.02mm,铣削摆线轮齿廓时其径向进给量为0.05~0.10mm/r。

因为铣削摆线轮时,摆线轮齿形沿轴向一次形成,无需上下走刀,只需快速进给及退出。用于工件的装卸,铣刀上下位置的少量调整可通过手动进行。

滚齿机铣削摆线齿廓铣削头结构总装图见图22.1-7。

此种加工方法只需对已有的旧滚齿机床,拆除刀架及其滑板部分,换以摆线铣削头即可。加工所用刀具为普通标准立铣刀,通用性强。它可以加工摆线轮的外摆线齿廓,又可以用来加工针齿壳的内摆线。其生产效率和精度均一般,对生产批量不大的情况是比较理想的一种加工方法。

(2) 在插齿机上用半圆头插刀插齿

1) 加工原理 这是将插齿机改装成靠模插齿机对摆线轮进行摆线齿廓切削加工的一种方法。其齿廓的形状是由靠模凸轮的形状确定的。图22.1-8为靠模插齿机插削摆线轮摆线齿廓示意图。

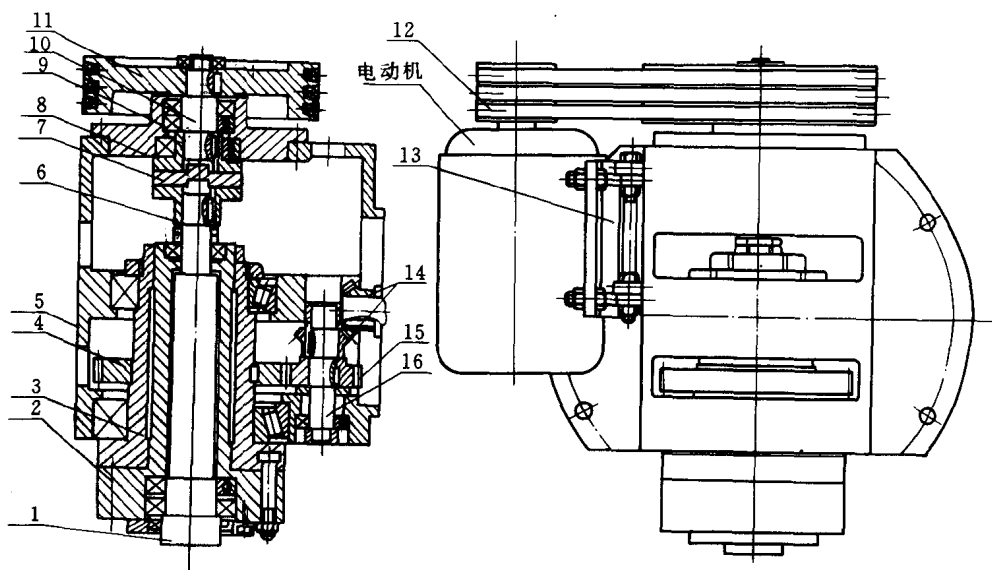


图 22.1-7 铣削头总装图

1—主轴 2—偏心轴 3—偏心轴套 4—齿轮 5—箱体 6~8—十字滑块联轴器 9—连接套
10—轴 11、12—带传动 13—支承板 14—锥齿轮 15—齿轮 16—连接轴

插削所用半圆形插刀的刀头半径 r :

$$r = r_c - \Delta \quad (22.1-3)$$

式中 r_c ——针齿套半径;

Δ ——摆线轮齿面的磨削余量。

2) 插齿机床的改装(以 Y54 插齿机为例) 拆下插齿机上原来的进给凸轮, 换上靠模凸轮, 合上离合器 D , 脱开棘爪 N 与棘轮 M 的啮合。

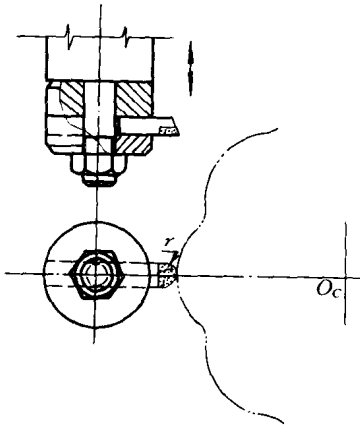


图 22.1-8 插齿加工示意图

为了使插齿刀只做上下插削运动, 不做回转运动, 还需将传动轴 II 脱开。

为了改变进给量达到均匀切削的目的, 需将插齿机的传动链条拆除, 用一个电磁调速异步电动机直接带动轴 I 转动, 并把转差离合器控制装置的旋扭和机床刀架丝杠 P 上装的齿条相联接, 使其在切削过程中按其不同的切削要求而改变工作台的转速(即被加工摆线轮工件的转速)。

图 22.1-9 为通过改装以后的靠模插齿机的传动系统图。

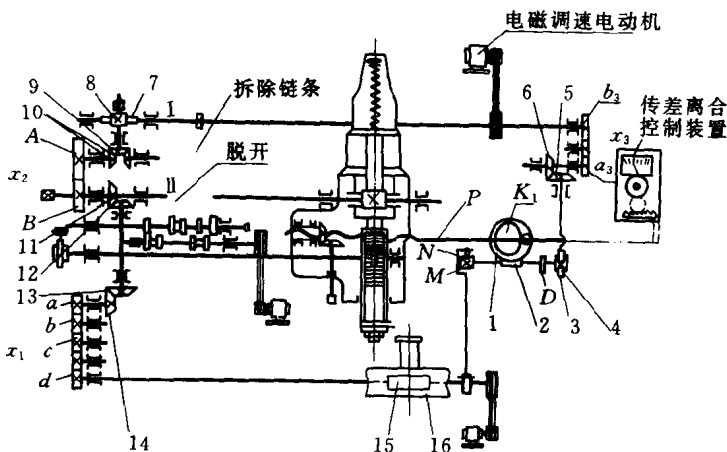


图 22.1-9 靠模插齿机传动系统图

插齿刀的上下往复运动的行程决定于插削摆线轮工件的厚度。通过对曲柄轴左端的曲柄盘、曲柄摇杆的调整即可达到行程长短的调整。

插齿刀的往复行程数取决于插齿刀的行程长度和插齿刀的平均插削速度。插削速度是由摆线轮材料及其规格大小决定的, 一般选用 20m/min 以内的线速度。

插齿时的分齿运动, 当靠模凸轮转一转时, 工作台即被加工的摆线轮转过一个齿, 插齿刀完成一次径向往复切削行程(摆线轮齿高)。由图 22.1-9 可知其传动比例关系为

$$1 \times \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} \times \frac{z_5}{z_6} \times x_3 \times \frac{z_7}{z_8} \times \frac{z_9}{z_{10}} \times x_2 \times \frac{z_{11}}{z_{12}} \times \frac{z_{13}}{z_{14}} \times x_1 \times \frac{z_{15}}{z_{16}} = \frac{1}{z_c}$$

将各传动齿轮的齿数和蜗杆的头数分别代入上式, 可得分齿交换齿轮速比:

$$x_1 = \frac{69}{40} \times \frac{1}{x_2 \times x_3 \times z_c} = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \quad (22.1-4)$$

式中 x_3 ——原插齿机中径向进给运动交换齿轮速比(其值有三种, 即 1/2、1、2, 现取 x_3 值为 1/2);

a, b, c, d ——分齿交换齿轮;

z_c ——摆线轮齿数;

$x_2 = \frac{A}{B}$ ——原插齿机圆周进给运动交换齿轮速比。

在改装后的靠模插齿机中插齿刀不需做圆周运动, 为计算方便, 取 $A=23, B=66$, 可得:

$$x_2 = \frac{23}{66}$$

其中, 齿数为 23 的齿轮 A 与齿数为 66 的齿轮 B 需重新制作。

将上述有关数据代入公式 (22.1-4) 可得:

$$x_1 = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{99}{10} \times \frac{1}{z_c} \quad (22.1-5)$$

在摆线针轮减速器中摆线轮齿数一定, 可通过计算确定所需的分齿交换齿轮的齿数, 表 22.1-5 为常见分齿交换齿轮表。

其中, 齿数为 59、71、86、87 的分齿交换齿轮在原插齿机中没有, 需另外配作。

插齿时的径向进给是用手动方式由插齿刀实现的, 一般为手柄每转一周进给量为 0.2~0.5mm。

3) 靠模凸轮的设计与制造 靠模凸轮曲线通常可以由设计计算方法和样板法两种方法获得。

表 22.1-5 插齿分齿交换齿轮表

摆线轮齿数	a	b	c	d
9	33	20	30	45
11				55
13				65
17				85
23	33	40	24	46
29				58
35				70
43				86
59	33	80	24	59
71				71
87				87

设计计算法是取凸轮的基圆直径 d_0 等于 Y54A 型插齿机上进给凸轮的基圆直径,将基圆 d_0 分成若干等分,利用凸轮转一转摆线轮转一齿的关系,将对应的摆线轮所转的角度代入摆线轮齿廓方程式内,便可以求得齿廓上各点的极半径值。在基圆 d_0 上,对应各等分转角,用摆线齿廓上相应点极半径与前一点极半径之差值取点作为中心,以 Y54A 插齿机上靠模凸轮的压滚直径为直径绘图,其等距曲线即为靠模凸轮曲线。

图 22.1-10 为用设计计算法求靠模凸轮曲线。

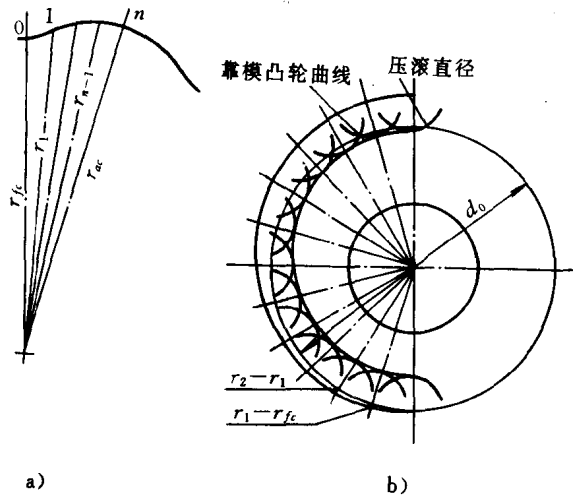


图 22.1-10 用设计计算法求靠模凸轮曲线

a) 摆线齿廓上各点的极半径 b) 靠模凸轮曲线

用样板法插制靠模凸轮曲线是将摆线轮齿廓样板安装在插齿机工作台上,把被加工的靠模凸轮毛坯安

装在插齿机刀杆上,切削凸轮用的刀架固定在床身上,当调整分齿交换齿轮使工作台转过一齿(即 $1/z_c$ 转)时,插齿机刀杆(即凸轮毛坯)转一转;即可得到所需的靠模凸轮,如图 22.1-11 所示。

上述插齿加工方法,需对插齿机做一定的改造,靠模凸轮和刀具均需重新另外制作,特别是靠模凸轮,制作比较复杂且数量较大。生产效率一般,故采用较少。

(3) 在 Y3280 摆线铣齿机上铣齿 Y3280 铣齿机铣齿是用凸半圆盘状铣刀,以展成原理对摆线轮齿廓进行连续切削加工的。当铣刀的偏心运动,与工作台的分度运动满足一定的比例关系相对运动时,便可使工作台上的摆线轮连续切削出摆线齿廓来。其工作原理见图 22.1-12。

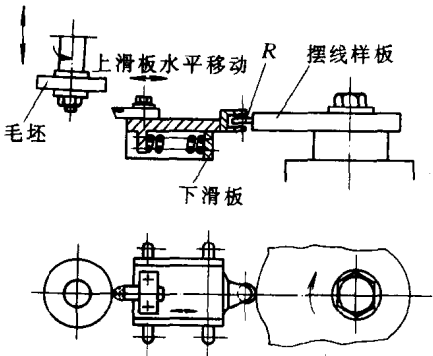


图 22.1-11 用样板法插制靠模凸轮

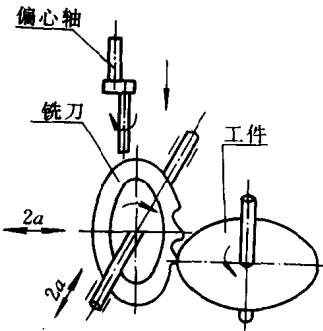


图 22.1-12 Y3280 摆线铣齿机工作原理

Y3280 摆线铣齿机的切削运动包括:铣刀盘的旋转运动;铣刀盘的偏心运动;工作台的分度运动以及进给运动。

铣刀盘的旋转运动可以通过调整 Y3280 铣齿机的四组交换齿轮获得四种转速,见表 22.1-6。

铣刀盘的偏心转速(六种)由 Y3280 铣齿机的两组交换齿轮和操纵手柄三种不同位置的调节来获得,见表 22.1-7。

表 22.1-6 铣刀盘转速

交换齿轮 A/B	21/51	24/48	28/44	32/40
铣刀盘转速/(r/min)	73	89	113	142.5

表 22.1-7 铣刀盘偏心转速

操纵手柄	交换齿轮 A ₁ /B ₁	偏心转速/(r/min)	
		22/44	33/33
位置 I		6.5	13
位置 II		10.4	20.8
位置 III		8.25	16.5

Y3280 铣齿机的分齿运动应满足:刀具完成一次偏心运动,摆线轮工件转一个齿,也就是当机床中偏心蜗轮转一转时,工作台带着工件准确的转过 $1/z_c$ 转,即:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{f}{e} \cdot \frac{6}{z_c} \quad (22.1-6)$$

式中 a, b, c, d ——分齿交换齿轮;

e, f ——结构性交换齿轮;

z_c ——摆线轮齿数。

当:

$$\frac{f}{e} = \frac{36}{36} \text{ 时 } \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{6}{z_c}$$

$$\frac{f}{e} = \frac{48}{24} \text{ 时 } \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{12}{z_c}$$

$$\frac{f}{e} = \frac{54}{18} \text{ 时 } \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{18}{z_c}$$

取: $f/e = 48/24$ 时,则各种规格摆线轮的分齿交换齿轮见表 22.1-8。

Y3280 摆线铣齿机加工时,为了切出整个齿宽的齿形,摆线铣刀盘需沿工件轴线方向(上、下)做连续的进给运动,同时也要沿工件径向一次或多次进刀完成全部齿深的切削。

Y3280 摆线铣齿机的径向进给是手动实现的,当手柄转一周时,工作台径向移动 1mm,手柄刻度盘上每小格为 0.02mm。

Y3280 摆线铣齿机的轴向进给是通过交换齿轮搭配和推挡齿轮变速箱变速来获得不同进给量的,表 22.1-9 为轴向进给量调整表。

铣摆线轮齿廓时,一般选用轴向进给量为 1mm/r。

Y3280 铣齿机是加工摆线齿廓的专用机床,加工刀具亦是专用铣刀盘,其加工精度和生产效率均较高,适用于较大批量生产。

表 22.1-8 Y3280 铣齿机分齿交换齿轮表

摆线轮齿数	a	b	c	d
9	50	20	24	45
11				55
13	24	20	40	52
17	48	60	30	34
23				46
29				58
35				70
43				86
59	24	80	40	59
71				71
87				87

表 22.1-9 轴向进给量调整表

手柄挡位	交换齿轮 a/b	26/52	32/46
I		0.4	0.56
II		0.63	0.87
III		1	1.41

(4) 用专用的摆线齿滚刀在普通滚齿机上滚齿 这种加工方法是在普通的滚齿机上,利用特殊设计制造的摆线齿形滚刀以展成方法来进行摆线轮的摆线齿廓加工。其原理及具体操作与普通滚齿机加工渐开线齿轮完全相同。

它看似一种简单易行的方法并有较高的生产效率和加工精度,但其摆线齿形滚刀通用性很差,每一种参数的摆线轮就须一把专门的滚刀,因此要求滚刀数量很多,特别是对于批量小,规格多的厂家,将大大地提高成本。同时对于齿数少、齿距大的滚刀,在设计制造上,目前尚存在一定困难。

(5) 在立铣床上加装夹具用立铣刀铣齿 这种方法是根据短幅外摆线的第二种形成法加工摆线轮齿廓的。其夹具实际结构的工作原理是模拟摆线针轮行星减速器的传动原理。刀具相当于固定不动的针齿,仅作回转切削运动,装在工作台夹具体上的工件则相当于作行星运动的摆线轮,既作自转运动(每分钟 n_a 转),又作公转运动(每分钟 n_H 转)。在立铣上铣摆线齿廓如图 22.1-13 所示。

实现上述运动的夹具的传动原理如图 22.1-14 所示。

夹具的公转运动的传动路线为:电动机 2 通过一对齿轮 1、3 带动轴 I 转动,轴 I 通过蜗杆 5、蜗轮 4 带

动 O_H 轴上装的偏心套 9, 使工作台 8 绕 O_H 转动(即公转)。

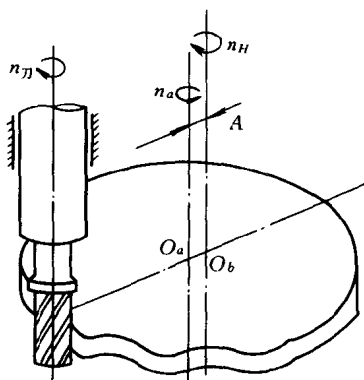


图 22.1-13 在立铣上铣摆线齿廓的原理

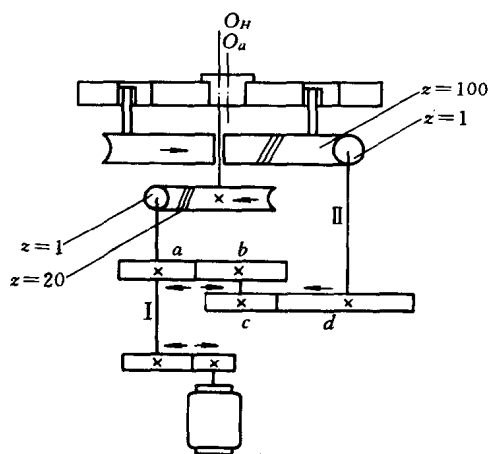


图 22.1-14 夹具的传动原理

自转运动的传动路线为：电动机通过一对齿轮 1、3 带动轴 I 转动，并经过交换齿轮 a, b, c, d 带动轴 II 转动。轴 II 上的蜗杆 11 带动空套在 O_H 轴上的蜗轮 10 转动，在蜗轮 10 上装有柱销 6。柱销与套在其上的柱销套 7 一同插入工作台 8 上的柱销孔中，当蜗轮 10 转动时，通过柱销、柱销套作用于柱销孔使工作台绕偏心套的中心 O_e 转动(即自转)。

公转与自转的转速比应满足以下关系，

$$\frac{n_H}{n_a} = -z_c$$

式中 z_c ——被加工摆线轮齿数。

为了满足上式的关系，只要调整交换齿轮 a, b, c, d 的齿数。

由图 22.1-14 可知， n_a 与 n_H 的关系为

$$\frac{n_H}{n_a} = -\frac{1}{20} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{100}{1} = -5 \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{d}{c}$$

若要

$$\frac{n_H}{n_a} = -z_c, \text{ 只要}$$

$$-5 \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{d}{c} = -z_c$$

即

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{5}{z_c} \quad (22.1-7)$$

例如铣 $z_c=11$ 的摆线轮，则其交换齿轮的齿数应为

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{5}{11} = \frac{30}{44} \times \frac{40}{60}$$

为了使夹具能加工偏心距不同的摆线轮，需要更换偏心套和柱销套。偏心套的偏心距应等于被加工摆线轮的偏心距 A ；根据孔销式 W 机构的原理，柱销套的直径与柱销孔直径、偏心距 A 之间的关系应满足以下关系，即：

$$\text{柱销套直径} = \text{柱销孔直径} - 2A$$

有些工厂采用可调式双偏心套(见图 22.1-15a)代替一系列的单个偏心套。把偏心套 2 相对于偏心套 1 转动，达到所需要的偏心距后，用骑缝销钉 3 将两者固定，使其不能再做相对转动。

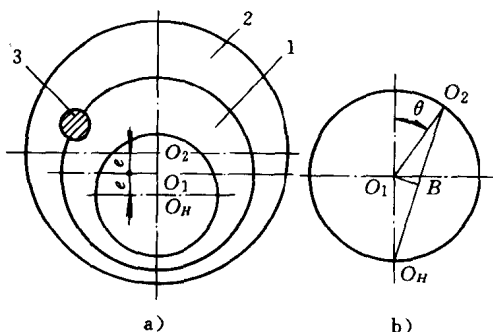


图 22.1-15 双偏心套的原理

a) 结构原理 b) 偏心距调整计算方法

设 O_H 为轴的回转中心， O_1 为偏心套 1 的中心， O_2 为偏心套 2 的中心，并设偏心套 1 对 O_H 的偏心距为 e ，偏心套 2 对 O_1 的偏心距也为 e 。当偏心套 2 相对偏心套 1 转过一角度 θ 时(见图 22.1-15b)，则 O_2 相对于轴的回转中心 O_H 的偏心距 A 为

$$A = \overline{O_H O_2} = \overline{2O_H B} = 2e \cos \frac{\theta}{2} \quad (22.1-8)$$

双偏心套的原理如图 22.1-15 所示，若设计时取 $e=4$ ，则式(22.1-8)简化为

$$A = 8 \cos \frac{\theta}{2}$$

因此，如要求的偏心距 $A=8\text{mm}$ 时，则需使：

$$\cos \frac{\theta}{2} = 1 \quad \text{即 } \theta = 0^\circ$$

如要求的偏心距 $A=4\text{mm}$ 时,则需:

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} \quad \text{即 } \theta = 120^\circ$$

根据上式可确定两个偏心套相对角度位置和骑缝销钉孔的位置。加工销孔时,应把两个偏心套装在一起,按偏心距准确调整后进行调整。

这种加工方法比较简单易行,加工精度和效率一般,适用于中等批量,小规格的摆线轮加工。

(6) 在摆线磨床上磨齿 摆线磨床也是根据短幅外摆线的第二种形成法磨削摆线轮齿廓的。磨床的工作原理是模拟摆线针轮行星减速器的传动原理,砂轮相当于针齿,工作台上的工件相当于做行星运动的摆线轮。在加工过程中,砂轮对工件的切削运动就相当于一个针齿与摆线轮的啮合运动,砂轮表面修整成针齿半径 r_s 的圆弧,磨削时砂轮除转动外,只作上下往复运动,因此形成摆线的展成运动是由工作台的行星运动来实现的。

图 22.1-16 是 Y7654 型摆线磨床的传动系统图。

由机床传动系统图可知,工作台的运动由公转和

自转运动两部分组成。

公转运动是由电磁调速异步电动机 4 经过一对 V 带轮 5、6 (传动比等于 2) 传给一对交错轴斜齿轮 7、8,斜齿轮 8 带动工作台中间的主轴 O_H 转动。在工作台 O_H 的锥面上装有精度很高的偏心套 12,通过偏心套使工作台 11 作逆时针方向的公转运动。其转速为

$$n_H = n_{\text{电机}} \times \frac{1}{2} \times \frac{24}{48} \quad (22.1-9)$$

自转运动是由电磁调速异步电动机 4 经过一对 V 带轮 5、6 带动分齿交换齿轮 A, B, C, D ; 再带动精密的传动蜗杆 10 和蜗轮 9,使蜗轮作顺时针方向转动。在蜗轮 9 与工作台之间装有一个十字滑块联轴器。通过十字滑块联轴器将蜗轮的转动传递给工作台,使工作台做顺时针方向转动,即自转运动,其转速为

$$n_c = n_{\text{电机}} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} \cdot \frac{2}{99} \quad (22.1-10)$$

式中 A, B, C, D ——分齿交换齿轮齿数。

由摆线针轮行星减速器的传动比

$$i_{HC} = \frac{\omega_H}{\omega_c} = \frac{n_H}{n_c} = -z_c$$

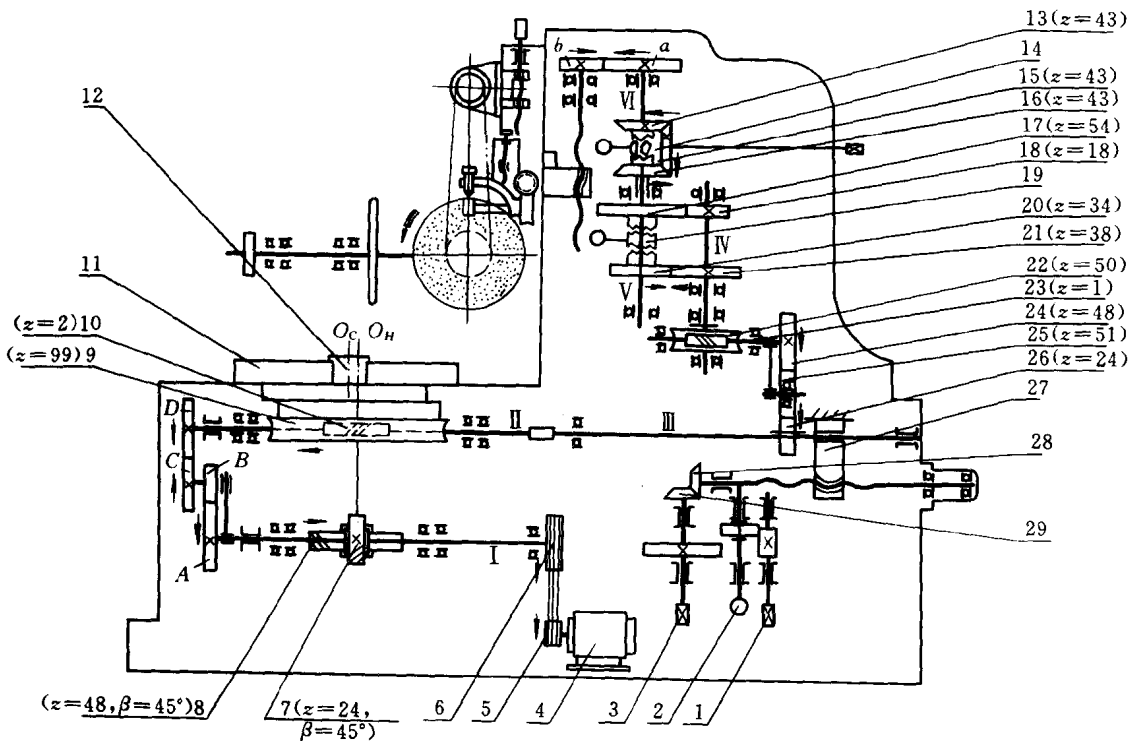


图 22.1-16 Y7654 型摆线磨床传动系统图

1、2、3—手柄 4—电动机 5、6—带轮 7、10、23—蜗杆 8、9、22—蜗轮 11—工作台
12—偏心套 13、15~18、20、21、24~26、28、29—齿轮 14、19—离合器 27—螺母座

可知,工作台的公转转速与自转转速之比等于被加工工件的齿数 z_c 。由式(22.1-9)和公式(22.1-10)可得

$$\frac{n_H}{n_c} = -\frac{24}{48} \left(\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} \cdot \frac{2}{99} \right) = -z_c$$

经整理后得分齿交换齿轮比为

$$\frac{A \cdot C}{B \cdot D} = \frac{99}{4z_c} \quad (22.1-11)$$

因此我们可以根据所加工的摆线轮的齿数来选择所需分齿交换齿轮的齿数。

在 Y7654 型摆线磨齿机上,分齿交换齿轮可按表 22.1-10 选取(QC001 型摆线磨齿机同)。

表 22.1-10 分齿交换齿轮表(Y7654)

摆线齿数 z_c	A	B	C	D
9	84	56	66	36
11				44
13				52
17				68
23			33	46
29				58
35				70
43				86
59	33	59	60	80
71	60	80	33	71
87				87

为了使摆线轮整个齿厚都能得到磨削,就必须使砂轮作上下垂直移动。其运动是在蜗杆 10 右端用一个套筒式联轴器与花键轴 III 相联接。当蜗杆 10 转动时通过齿轮 26、25 和 24 带动立柱上蜗杆 23、蜗轮 22 转动,在轴 IV 上装有直齿轮 21、18,始终与在轴 V 上空转的齿轮 20、17 啮合着。用手柄使离合器 19 的端面牙齿与齿轮 20 端面上的牙齿接合,就得到一组粗磨的垂直进给速度;另一种情况是用手柄使离合器 19 的端面牙齿与齿轮 17 端面上的牙齿接合,就可得到一组精磨的垂直进给速度。当粗磨或精磨位置选定后,动力经过离合器 19 传给轴 V。轴 V 的运动又传给离合器 14,在离合器 14 与锥齿轮 16 端面上的牙齿接合时,经过锥齿轮 15、13 使轴 VI 的转向与轴 V 相反,再经过垂直进给交换齿轮 a 和 b 使丝杠做逆时针方向转动,这时丝杠带动砂轮架滑座向下移动。当离合器 14 与锥齿轮 13 端面上的牙齿接合时,轴 VI 的转向与轴 V 相同,这时砂轮架滑座向上移动。

调整机床时,可用手柄操纵离合器 14 使砂轮架滑座上下移动;在正常运转时,是用装在砂轮架滑座上的

两个限位撞块操纵离合器 14,使砂轮架滑座自动换向。

工作台每转一转,砂轮在垂直方向的进给量计算如下:

粗磨时的垂直进给量:

$$S_{\text{粗}} = 1 \times \frac{99}{2} \times \frac{24}{51} \times \frac{51}{48} \times \frac{1}{50} \times \frac{38}{34} \times 1 \times \frac{a}{b} \times 2 = \frac{1881}{1700} \times \frac{a}{b} \quad (22.1-12)$$

精磨时的垂直进给量:

$$S_{\text{精}} = 1 \times \frac{99}{2} \times \frac{24}{51} \times \frac{51}{48} \times \frac{1}{50} \times \frac{18}{54} \times 1 \times \frac{a}{b} \times 2 = \frac{33}{100} \times \frac{a}{b} \quad (22.1-13)$$

根据工件的材料、硬度和加工表面粗糙度等实际情况,按表 22.1-11 选用合适的交换齿轮,以求得适宜的垂直进给量。

表 22.1-11 垂直进给交换齿轮表

交换齿轮		工作台转一转垂直进给量/mm	
a	b	粗 磨	精 磨
20	70	0.32	0.09
25	65	0.42	0.13
30	60	0.56	0.16
34	56	0.67	0.20
40	50	0.89	0.26

Y7654 摆线磨床的径向进给亦有粗进给和精进给两种。

粗进给时,把手柄 2 推进,转动方头手柄 3,经过锥齿轮 29 和 28 使丝杠转动,丝杠就带动固定在立柱上的螺母座 27 移动,这样就可使立柱壳体作前进和后退的动作,从而达到对工件的径向进刀和退刀。

精进给时,把手柄 2 拉出,使手柄 2 上的齿轮与手柄 1 和 3 上的齿轮相啮合,然后转动手柄 1 就可以得到对工件的精进给量。

偏心量的调整:

当磨削工件的偏心距不同时,可根据所磨工件的偏心距来选择工作台 11 中不同规格的偏心套 12 来达到加工不同的摆线轮工件的目的。需注意的是,在老式 Y7654 和 QC001 型摆线磨齿机中,蜗轮 10 与工作台 11 之间采用孔销式 W 机构,加工不同偏心距的摆线轮时应成组调换偏心套和与其匹配的柱销套,每组包括一个偏心套和三个柱销套,并应满足:

$$\text{柱销套外径} = \text{工作台上柱销孔直径} - 2a$$

式中 a——偏心距。

(7) 砂带磨齿 用砂带磨削摆线轮齿廓是利用现

有的摆线磨床,更换其磨头,用砂带对摆线轮齿廓进行精加工的一种方法。与前面的磨齿法比较,砂带磨削为全齿宽切削,无需垂直进给,因而磨削效率提高,另外砂带比砂轮轻,转动惯量小,因而电动机功率的利用率提高。图 22.1-17 为砂带磨削示意图。

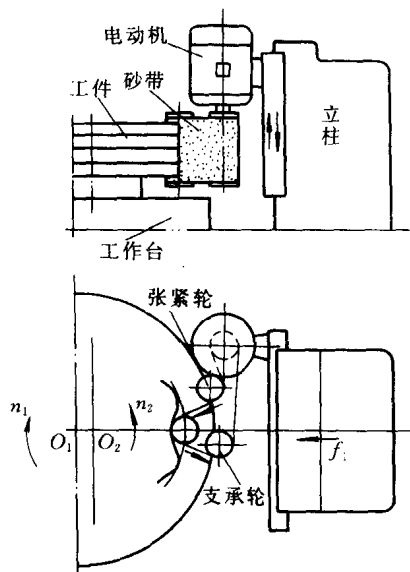


图 22.1-17 砂带磨削法示意图

砂带磨削的有关工艺参数:

砂带粒度: 60[#]~100[#]

砂带速度: 17~25m/s

工作台转速: 75~125r/min

切入进给速度为: 0.02~0.04mm/r。

砂带磨削法具有磨削过程中砂带掉砂比较严重;砂带带长增加需经常调整及对摆线轮齿廓粗加工的加工精度要求高等缺点。

(8) 二齿差传动摆线轮齿廓的加工 由“二齿差”摆线针轮传动原理可知,在“二齿差”传动中摆线轮的齿廓是由两条相位相差半个周节的“一齿差”摆线轮齿廓相交而形成,见第 8 篇图 8.1-18。

所以“二齿差”摆线轮齿廓的加工完全可以和“一齿差”摆线轮齿廓的加工一样,只不过是其全部齿廓曲线需工作台(工件)转两周,即 720°才能完全形成,而工作台(工件)转一周时只能加工出一条齿数为 $1/2z_c$ (z_c 为“二齿差”摆线轮齿数)的齿廓曲线来。因此,在具体的加工操作中各分齿交换齿轮的计算公式中的工件(摆线轮)的齿数 z_c 应取 $1/2z_c$ 。

举例说明,假设现需磨削一个齿数为 25 的“二齿差”摆线轮时,由公式(22.1-11)可得其交换齿轮计算公式为

$$\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} = \frac{99}{4 \times 1/2z_c} = \frac{99}{4 \times 12.5}$$

上式意味着,加工时当摆线轮转一转时只能加工出一条齿数为 12.5 的齿廓曲线;而当摆线轮转第二转时则加工出另一条与第一条相同的齿廓曲线。因为两条齿廓曲线的齿数为 12.5,所以加工出来的两条齿廓曲线的相位就必定与第一条齿廓曲线相差半个齿(半个周节)。这样加工出来的两条曲线就形成了“二齿差”传动的摆线轮的齿廓曲线。

由上述可知,“二齿差”传动中摆线轮是由两条相位相差半个周节的二条“一齿差”摆线轮的齿廓曲线相交而成的,所以其齿顶为一尖点。尖点削弱了齿顶部强度,同时还将在传动中引起较强的噪声,因此需优选出一条与齿形工作部分圆滑相连的齿顶修形曲线来修掉齿顶尖点。齿顶修形曲线的优选方法及加工方法在第 8 篇第 1.2 节中已有详细介绍。

当加工“二齿差”传动的摆线轮的齿数为偶数(如 $z_c=18$)时,加工方法与上述略有不同。

此时,“二齿差”传动摆线轮的齿廓曲线就不可能通过一次连续分度加工完成,而是要在加工完成第一条,即 $z_c=9$ 的齿廓曲线后进行第二次重新分度,再加工第二条 $z_c=9$ 的齿廓曲线,二者相位相差同样为半个周节。当加工完第一条曲线后,脱开分齿交换齿轮传动链,用手动将工作台(工件)转过半个周节的角,然后再重新合上分齿交换齿轮进行第二条与第一条完全相同的齿廓曲线的加工。其齿顶修形的操作与前述相同,即不论加工奇数齿或偶数齿都是一样的。

2.4.2 摆线轮销孔的加工

1. 摆线轮销孔的粗加工与半精加工

摆线轮销孔的粗加工一般可采用钻削加工,而销孔的半精加工则多采用镗削加工。目前还没有定型的加工机床,一般都是利用自制的简易设备,在车床上或卧式铣床上及自制的销孔镗床上实现。其基本加工原理如图 22.1-18 所示。工件与分度盘固连并同轴作间断的旋转分度运动。加工过程中,镗头作高速旋转,走刀可以由工件(工作台)移动来实现,也可以由镗头的移动来实现;而进给运动则是由镗头自身通过调整刀头或进刀偏心机构来实现。工作的回转中心与镗头中心的距离,则是根据工件的销孔分布圆半径,一次性调整好。

2. 摆线轮销孔的精磨

摆线轮销孔的磨削加工与半精镗大致相同,只是为了使砂轮获得较充分的磨削线速度及进刀,摆线轮必须实现以销孔中心为回转中心,工件偏心地安装于机床主轴上,偏心距等于销孔分布圆半径。工件与分度

盘固连可进行间断分度。加工过程中,工件绕销孔中心线旋转,砂轮作轴向进给和径向进给。具体加工方法有:

(1) 在普通磨床(内孔磨或万能磨)上附加偏心分度胎具磨削摆线轮销孔,图 22.1-19 为偏心分度胎具结构图。

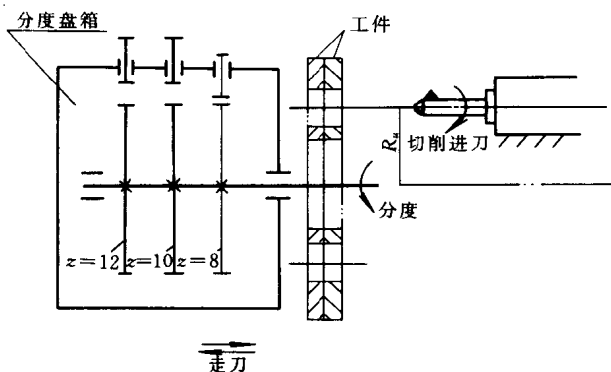


图 22.1-18 销孔磨削示意图

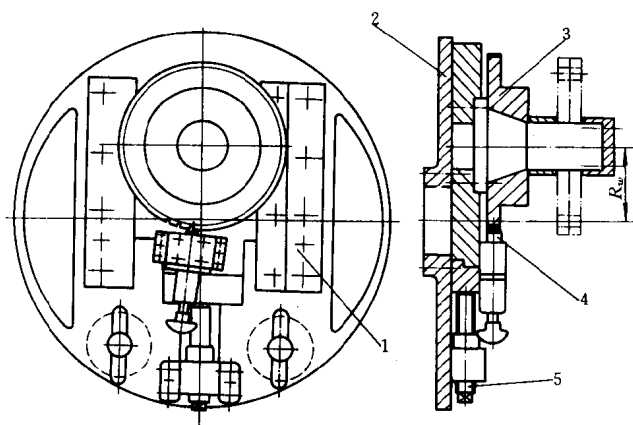


图 22.1-19 偏心分度胎具结构图

通过连接花盘 2 或锥形轴与机床主轴连接。松开滑枕 1 的压紧螺钉,可用丝杠 5 调节中心尺寸 R_w ,保证摆线轮销孔分布圆中心尺寸 D_w ;拔出定位插销 4,转动分度板 3 进行分度。为提高胎具的通用性,分度板的齿数应为摆线轮销孔数的公倍数,分度板的齿距误差及累积误差应不低于工件的 $1/2$ 。分度板与摆线轮工件均装在胎具的心轴上并夹紧。由于胎具体上心轴、分度板滑块、摆线轮等均偏离胎具的回转中心,为了转动时平衡起见,必须在其相对的位置上配置平衡块,以保证运转时的平衡。

上述加工方法,也可以在车床上附加磨头来实现。

这种加工方法对于加工较大规格的摆线轮有一定困难,因为其回转半径大,必要时可把床头相应加高。

(2) 在立式机床上磨削摆线轮销孔。这种加工方法可以适应较大规格的摆线轮销孔磨削加工。立式销孔磨削机床传动系统如图 22.1-20 所示。

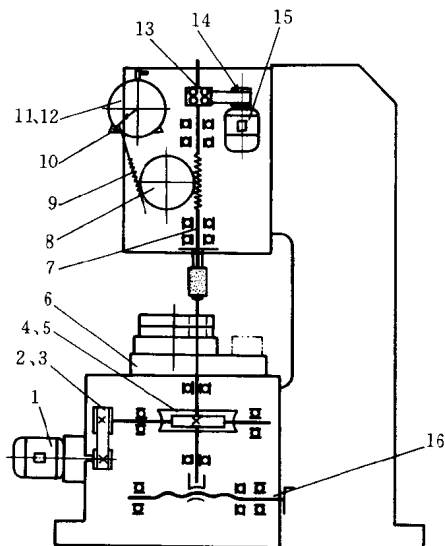


图 22.1-20 立式销孔磨床传动系统图

其工作台的转动是由调速电动机 1 通过带轮 2、3 传动给蜗轮和蜗杆 4、5 带动工作台 6 转动的。

根据不同规格的摆线轮销孔的磨削加工要求,调节调速电动机可获得不同的转速。

工件的径向进给是由手动实现的,通过微动调节机构(齿轮副及蜗杆副)16 拖动工作台移动。

砂轮轴的传动是由电动机 15 通过一对带轮 13、14 带动砂轮轴转动。

磨削加工的轴向进给运动是由无级变速器 11 传动偏心盘 12 和调节转臂 10 带动驱动丝杠 9,再带动转盘 8 使砂轮轴 7 实现的。通过无级变速器可获得不同的进给速度;调节转臂 10 可改变偏心距的大小,以获得不同的进给行程。调整丝杠 9 可将砂轮轴提高或降低,以保证砂轮的正确行程位置及修整砂轮和便于工件装卸。

摆线轮销孔加工的分度精度是由多齿分度盘的分度精度来保证的。

(3) 用行星磨头磨削摆线轮销孔。加工过程中的轴向进给运动(走刀)和径向进给运动都是由磨头来实现的,工件只作间断的分度运动而不作回转运动,因此,这种加工方法对大规格摆线轮特别适用。由于有行星磨头的公转运动,就避免了前面所述两种加工方法所存在的因工件的偏心回转运动而影响了加工精度和其加工范围的缺点。

图 22.1-21 为行星磨头传动原理图。

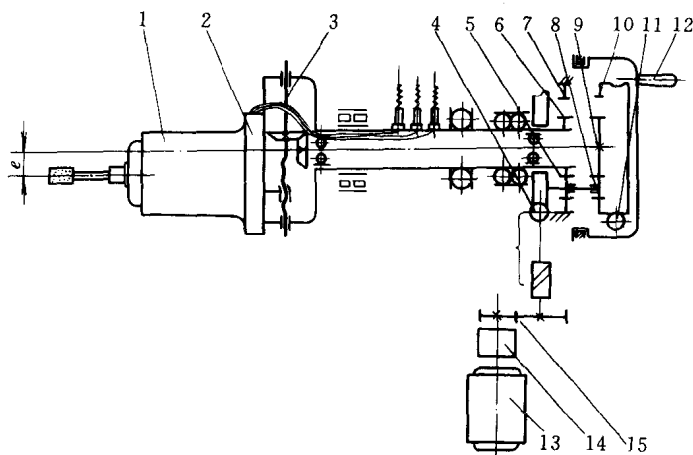


图 22.1-21 行星磨头传动原理图

行星磨头的砂轮是由变频电动机 1 驱动,通过变频机组的调整,可使磨头获得四种不同的转速。

砂轮偏心距 e 的粗调是由手柄 12 实现的;而细调则是由手柄 11 实现的。砂轮的公转是由电动机 13,经无级变速器 14、齿轮 15、蜗杆副 4,再经齿轮 5、6、7、8、9、10 而传动的。磨头滑板 2 上的传动丝杠 3 上面装有双螺母和弹簧机构,从而消除了丝杠的传动间隙。

行星磨头的结构紧凑,使用和调整极为方便可靠,且进给运动可以实现无级调速。

行星磨头以其独特的加工方式,使它具有较高的加工精度和广泛的加工范围。

行星磨头磨削孔径为:20~100mm;

砂轮自转转速为:3000、4500、7500、10500r/min;

砂轮公转转速为:30~100r/min;

砂轮最大进给量为 50mm。

3 针齿壳加工工艺

3.1 针齿壳材料选择

针齿壳可选用灰铸铁,碳素铸钢等材料。对于灰铸铁,随着牌号增高,强度增加,但切削性能降低,加工后获得的表面粗糙度值增大。HT250 以下的牌号,生产工艺较简单,成品率高,成本低,残余应力小,HT250 以上牌号的铸件,需采取适当的工艺措施。与铸铁相比,铸钢的机械性能较高,但其铸造性能以及切削加工性比铸铁差,且铸钢的成本相对较高,因此在摆线针轮行星减速器中,针齿壳一般采用 HT200 牌号的灰铸铁,而很少采用铸钢件。

3.2 针齿壳的加工工艺路线

根据针齿壳的技术要求(见第 8 篇表 8.1-8,图

8.1-41)确定针齿壳的加工工艺如下:

铸造→清砂→人工时效→粗车→二次人工时效→精车→钻、镗、铰针齿销孔→钻孔及攻螺纹→铣内摆线(或者车内孔)→去毛刺。

3.3 针齿壳的热处理工艺

针齿壳铸件在浇注冷却过程中,由于铸件的壁厚不均,各部位的冷却速度不同,会产生很大的内应力,这样在铸件经切削加工后,由于内应力的重新分布而引起变形。对于精度要求较高的针齿壳来说,在切削加工前和切削加工过程中进行必要的消除内应力退火是非常重要的。图 22.1-22 是针齿壳消除内应力的退火规范。

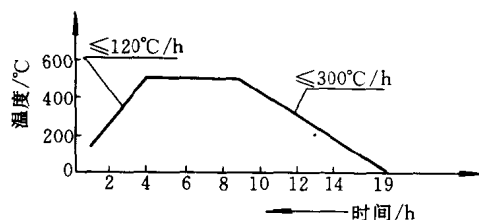


图 22.1-22 针齿壳消除内应力退火规范

3.4 针齿壳的机械加工工艺

在整个针齿壳的机械加工过程当中,针齿销孔的加工最为重要。它的加工精度高低将直接影响摆线针轮行星减速器传动性能的好坏,因此,它就成为针齿壳机械加工工艺中的关键。另外针齿壳内摆线的加工也是比较困难的,因为它的加工无法在普通机床上完成,需要在专用设备上加工。

3.4.1 针齿壳针齿销孔的加工

目前针齿壳针齿销孔的加工方法很多,归纳起来主要有如下几种加工方式,见表 22.1-12。

表 22.1-12 针齿销孔的加工方式

加工方式	加工示意图	加工机床	加工特点
卧式双向加工	1、3—高速钻铣削头 2—分度机构 4、5—动力滑台 6—床身	专用机床	1. 缩短了刀具的刀杆长度,提高了刀杆的刚度 2. 分度盘分度 3. 工作效率高 4. 铝、镗铣削头的机床,同轴度要求高
立式双向加工		立式钻床 立式精镗床	1. 缩短了刀杆长度,刀杆刚性得到了提高 2. 使用多齿分度盘分度 3. 加工效率较低 4. 定位基准不统一
立式单向深孔加工	1—主轴箱 2—立柱 3—床身 4—工件 5—精密分度盘 6—工作台滑板	立式钻床 立式精镗床	1. 使用多齿分度盘分度 2. 刀杆刚度相对较差 3. 使用较广泛
卧式单向深孔加工		数控加工 中心机床	1. 自动分度 2. 自动换刀 3. 生产效率较高 4. 精度较高 5. 机床成本高

值得注意的是,针齿销孔的加工深度与其直径之比值较大,且多为二支点或者三支点结构,故孔的同轴度与平行度乃是其加工的关键所在。下面就几种最常用的加工方法作简要介绍:

(1) 在 Z535 型立式钻床上加工针齿销孔 在 Z535 立式钻床上加工针齿销孔,多采用多齿分度盘进行分度。将多齿分度盘置于纵向滑板上(需另外制作,装配在钻床工作台上),分度盘上面联接一夹具体,用于针齿壳的定位与夹紧。装上夹具体后,需对其进行校正,使其定位平面相对纵向滑板的平行度不低于 5 级精度;定位止口相对于多齿分度盘的回转中心线的径向圆跳动不低于 6 级精度。

在夹具体上装上针齿壳工件后,还应校正其与机座相配合的止口外圆的径向圆跳动应低于图样相应要求的最大公差值。

在加工前,首先应在直径方向上(相对 180°)试钻两孔,进行中心距校正,然后锁紧纵向滑板,才能对针齿壳进行加工。

针齿壳针齿销孔的钻孔切削参数,见表 22.1-13。
对于 B33 以上机型号的针齿壳(销孔直径大于和等于 $\phi 20$ 的针齿壳)可在 T716A 型立式精镗床上加工,方法与在 Z535 立式钻床上加工时基本一样。T716A 立式精镗床钻针齿销孔的切削参数见表 22.1-14。